MINISTERUL ÎNVĂȚĂMÎNTULUI ȘI CULTURII

Acad. prof. EMIL POP, Prof. N. SĂLĂGEANU,
m. c. al Academiei R.P.R.

Prof. ȘT. PÉTERFI și Prof. H. CHIRILEI
m. c. al Academiei R.P.R.

MANUAL
DE
FIZIOLOGIA PLANTELOR

VOL. I

1957

LITOGRAFIA ȘI TIPOGRAFIA ÎNVAȚĂMÎNTULUI — c. 658

Scanned with OKEN Scanner

MINISTERUL ÎNVĂȚĂMÎNTULUI ȘI CULTURII

Acad. prof. EMIL POP, Prof. N. SĂLĂGEANU,
m. c. al Academiei R. P. R.

Prof. ȘT. PÉTERFI și Prof. H. CHIRILEI
m. c. al Academiei R. P. R.

MANUAL
DE
FIZIOLOGIA PLANTELOR

VOL. I

1957

LITOGRAFIA ȘI TIPOGRAFIA ÎNVĂȚĂMÎNTULUI — c. 658

Scanned with OKEN Scanner

INTRODUCERE

Fiziologia plantelor este știința despre fenomenele vieții cari au loc în corpul plantelor. Ea urmărește să cunoască deplin activitatea plantelor și procesele ce decurg în ele, în așa măsură încît să avem posibilitatea să schimbăm cursul acestor procese, să dăm o anumită direcție întregii vieți a plantelor, cu scopul obținerii unei cantități mărite de produse necesare nouă.

„Scopul spre care tinde fiziologia plantelor — scria K. A. Timiriazev — constă în a studia și lămuri fenomenele organismului vegetal, cu scopul de a le supune complet voinței raționale a omului, astfel încît el să poată după dorința sa să schimbe, să limiteze sau să provoace acele fenomene. Fiziologul nu e permis să se mulțumească cu rolul pasiv de a lămuri; ca experimentator, el trebuie să acționeze în vederea transformării naturii“ [1].

Fiecare fenomen al vieții plantelor se studiază din punct de vedere cauzal analitic, stabilind condițiile fizice, chimice, morfologice, cari contribuie la efectuarea lui. Apoi se face o lucrare cu caracter sintetic, legînd rolul acestui fenomen de viața întregului organism. La această lucrare, trebuie să ținem seama și de principiul evoluției al lui Darwin. Astfel, geotropismul, fototropismul, necesitatea apei, prezența clorofilei, nu se pot explica fără acest caracter evoluționist.

Fiziologia plantelor se sprijină nu numai pe fizică și chimie, cum socoteau unii învățați înclinați să explice fenomenele vieții prin mecanicism, ci toate fenomenele ei trebuie privite ca rezultat al unui proces istoric prelungit și ca atare, ea se sprijină și pe darwinism.

Fiziologia plantelor are relații strînse cu fiziologia animalelor, care studiază multe fenomene ca respirația, nutriția, etc. comune, astfel încît cele două științe s-ar putea grupa într-o singură „fiziologie generală”.

Relațiile fiziologiei plantelor cu agricultura, sînt dintre cele mai strînse. Fiecare pas mai însemnat al fiziologiei plantelor, aduce după sine noi succese în agricultură. Problemele agriculturii servesc ca stimul în cercetări de fiziologia plantelor. Numeroși agronomi ca Boussingault, Viliams, Prianișnikov etc., ocupă în istoria fiziologiei vegetale un loc de cinste.

Cu agrochimia, fiziologia plantelor e atît de strîns legată, încît nici nu se poate face o delimitare. De ex., îngrășămintele chimice trebuie în așa fel administrate, ca să poată fi cît mai utile plantelor. Agrotehnica aplică astfel de măsuri ca să fie cît mai favorabile plantelor de culturi și cît mai neprielnice buruienilor, să asigure umiditatea solului, etc. În

---

[1] *K. A. Timiriazev.* Opere complete. Vol. 5, p. 145.

genetică (selecție) se aleg astfel de soiuri, pe cari cercetările fiziologice le indică mai rezistente la secetă, la temperatura scăzută, etc.

Istoria fiziologiei vegetale ne arată că omenirea a întîmpinat dificultăți nu numai la descoperirea fenomenelor vieții plantelor și la cercetarea lor, ci și la interpretarea diferitelor date culese prin observații și prin experiențe. De un ajutor prețios în această privință este filozofia materialist dialectică întemeiată de Karl Marx și Fr. Engels.

Pe baza materialismului filozofic, considerăm natura ca fiind materială, iar fenomenele ca datorite mișcării materiei. Studiind plantele, le găsim alcătuite din materie, aceeași cu cea înconjurătoare. Fiecare fenomen al vieții plantelor se studiază legîndu-l de mișcarea și de transformarea materiei. Așa în fenomenele de nutriție, plantele iau din mediul extern anumite substanțe pe cari le conduc în corpul lor, le transformă prin procesul de asimilație în substanță proprie lor. Fenomenele energetice se studiază tot în strînsă legătură cu transformarea și mișcarea materiei. Procesele de creștere, de asemenea se leagă de substratul material. Respectînd acest principiu al materialismului filozofic, după care procesele vieții se leagă de modificări materiale, fiziologia a făcut progrese mari.

Materialismul dialectic ne arată că „natura trebuie studiată așa cum este ea, fără nici un adaos străin“ [1]. În studiul vieții plantelor nu putem recurge la „forțe supranaturale", „spirite universale", „energii vitale", „suflete“, etc. Explicînd fenomenele vieții prin astfel de mijloace, ne îndepărtăm de metoda științifică, ce pretinde ca afirmațiile să poată fi dovedite și controlate, și totodată facem imposibil un progres al științei și în viitor.

Materialismul dialectic susține că natura cu fenomenele ei, poate fi cunoscută de noi. Opusă acestei concepții este acea a filozofilor idealiști, după care noi nu putem cunoaște lucrurile în sine.

În studiul vieții plantelor întîmpinăm dificultăți mari, datorite în parte faptului că științele ajutătoare ca citologia, histologia, fizica și chimia, ș. a., nu au ajuns la țelul lor, și în parte labilității mari a acestor fenomene, precum și a sediului lor, extrem de mic, reprezentat prin celulele vegetale. Putem spune chiar că nici un fenomen din viața plantelor nu e complet studiat. Chiar fenomenele simple, cum sînt transpirația, fenomenele osmozei și ale plasmolizei, care sînt relativ bine studiate, sînt departe de a fi pe deplin cunoscute. Aceasta însă nu însemnează că viața plantelor nu poate fi cercetată și cunoscută de mintea omenească. Dacă ținem seama de progresele mari realizate în studiul oricărui fenomen al vieții plantelor, constatăm că de 300 de ani de cînd astfel de cercetări se fac mai sistematic, s-au făcut progrese uimitor de mari. Chiar într-un timp mai scurt, de 5-10 ani, se duce înainte simțitor, lămurirea chestiunilor în diferitele domenii din viața plantelor.

Precum ne arată metoda dialectică, fenomenele din natură nu au loc în mod izolat, ci în strînsă legătură unele cu altele. Fiecare fenomen al vieții plantelor, este în strînsă legătură cu celelalte fenomene care au loc concomitent în corpul plantelor. Numai motive de ordin didactic ne fac să studiem diferitele fenomene ale vieții plantelor în mod succesiv. La

[1] *Fr. Engels*: Ludwig Feuerbach și sfîrșitul filosofiei clasice germane.

Scanned with OKEN Scanner

fiecare fenomen, trebuie să arătăm relația sa cu celelalte fenomene, precum și rolul pe care îl ocupă fiecare fenomen în viața plantelor.

Fenomenele vieții plantelor sînt în legătură strînsă cu mediul înconjurător, care le influențează. De aceea, trebuie studiată și acțiunea factorilor mediului înconjurător asupra fiecărui fenomen fiziologic.

Fenomenele vieții plantelor, sunt supuse la numeroase schimbări în decursul vieții plantelor, precum și în decursul existenței speciei respective. Aceste modificări pot avea loc în mod lent, ca de ex. acelea din fenomenele de creștere, care se realizează mai ales prin modificări cantitative. În afară de aceste modiifcări încete, sînt altele care se realizează în timp relativ scurt și prin care organismul trece la o stare calitativ deosebită. Astfel de modificări, numite și salturi calitative, se realizează de ex. în fenomenele de dezvoltare, în care plantele trec de la faza vegetativă, la producerea organelor înmulțirii sexuate.

*

Prezentul manual este destinat studenților facultăților de științe naturale, de agricultură și silvicultură. El poate fi consultat și de toți acei care activează în învățămînt, sau în diferite ramuri ale agriculturii.

Autorii și-au propus să prezinte în manualul de față materia clasică, și rezultatul multor cercetări recente în fiziologia vegetală. Ei au căutat să dea o atenție deosebită cercetărilor din acest domeniu efectuate în țara noastră.

Capitolele manualului de față au fost scrise precum urmează:

1. Istoricul fiziologiei plantelor, de acad. prof. Emil Pop.
2. Nutriția minerală a plantelor, de prof. Haralambie Chirilei.
3. Fotosinteza, de prof. Nicolae Sălăgeanu, membru coresp. acad. R. P. R.
4. Respirația, de prof. Ștefan Péterfy, membru coresp. al acad. R.P.R.

MANUALE ŞI TRATATE DE FIZIOLOGIE VEGETALA [1])

1. *N. L. MAXIMOV* — Fiziologia plantelor. Editura de stat pentru lit. şt. 1951.
2. *B. A. RUBIN* — Fiziologia rastenii. Sovetskaia Nauka, T. I 1954, T. II 1956.
3. *D. A. SABININ* — Fiziologiceskie osnovî pitania rastenîi. Izd. Akad. Nauk SSSR, 1955.
4. *S. P. Kosticev* — Fiziologia rastenii. Selhozgiz T. I 1937, T. II 1933.
5. *E. BÜNNING* — Lehrbuch der Pflanzenphysiologie.
6. *BONNER AND Galston* — Principles of plantphysiologie. Ed. Freeman and Comany SanFrancisco 1956.
7. *D. RUHLAND* — Handbuch der Pflanzenphysiologie. Springer--Verlag, Berlin Göttingen-Heidelberg 1955 şi în curs de apariţie.
8. *H. Chirilei, Puşcaşu* şi *I. Bărbat:* Manual de Fiziologia plantelor, Bucureşti 1957.
9. *I. ŞT. PETERFI* — A növények növekédésének és fejlödésének élettani alapjai (Bazele fiziologice ale creşterii şi desvoltării plantelor) Bucureşti ES 1954.
10. *I. ŞT. PETERFI* — A növények táplálkozása (Nutriţia plantelor) Bucureşti ES 1957.

[1] Lista de faţă cuprinde numai unele manuale de fiziologie vegetală folosite în mod curent. O bibliografie mai amănunţită se va indica la sfîrşitul fiecărui capitol.

Scanned with OKEN Scanner

CAPITOLUL I

ISTORICUL FIZIOLOGIEI PLANTELOR

de acad prof. E. POP

Epoca I (Din antichitate pînă la 1600)

Este cu totul semnificativă constatarea, că istoria fiziologiei vegetale științifice nu începe decît de odată cu pătrunderea metodei experimentale în sistemul de gîndire și de cercetare al umanității. Vorbind strict istoricește, această dată coincide aproximativ cu începutul secolului al 17-lea. Într-adevăr găsim manifestări fitofiziologice sporadice, dar veritabile chiar în literatura acestui timp. O afirmare categorică și de largă repercusiune a unor probleme și descoperiri din domeniul științei noastre nu are însă loc, decît spre sfîrșitul veacului al 17-lea și începutul celui de al 18-lea, cînd metoda inductivă, experimentală a pus stăpînire mai cu dinadinsul pe naturaliștii mai de seamă ai vremii. Fiziologia vegetală propriu zisă nu are deci o vechime mai mare de 3 veacuri.

Dar tratatele filozofice și naturaliste mai vechi, cuprind încă din miezul antichității încoace, fragmente care privesc viața plantelor. Ele reprezintă fie consemnări ale unor experiențe populare agricole — horticole, fie observații făcute în natură, dar sprijinite pe premise tulburi, fie mai ales speculații deductive încadrate într-un anumit sistem filozofic. Ele ne apar azi cu totul naive în general și am putea să le neglijăm într-un tratat științific ca pe niște curiozități lipsite de vreun sens util. Judecîndu-le însă din perspectivă istorică, ele merită toată atenția noastră nu numai pentrucă exprimă zbuciumul gîndirii umane dintr-un timp cînd ea nu se putea servi de mijloace cît de cît eficiente pentru cercetarea naturii, dar mai ales pentrucă acele vechi „curiozități" au dominat știința naturalistă timp de vreo 20 de veacuri pînă la pragul epocei „științifice" din veacul al 17-lea.

Această primă epocă a unei fiziologii populare am putea-o numi mai degrabă drept *preistoria fiziologiei vegetale științifice*.

În jurul Mării Mediterane, unde a înflorit civilizația greco-romană de la care ne-au rămas cele mai vechi tratate naturaliste, populația rurală practică, în bună parte și încă de mult timp agricultura. Acești vechi plugari făcuseră multe observații și chiar experiențe empirice de-a-lungul generațiilor în privința unor fenomene de domeniul fiziologiei vegetale. Din operele naturaliste pe care le vom cita, dar și din alte documente vechi, se constată că țărănimea circummediterană avea cunoștință de următoarele fenomene:

1. Se cunoștea empiric sexualitatea plantelor și aplicarea ei în practică.

Din papirus-uri s-a stabilit că vechii egipteni cunoșteau fructificația curmalului dioic *(Phoenix dactylifera)*. Un relief asirian din veacul al 9-lea î.e.n. reprezintă zeități care fructifică artificial curmalul. Exista noțiunea de curmal mascul și femel, iar polenizarea artificială precum și rărirea la proporția utilă a arborilor masculi și păstrarea completă a celor femeli, erau măsuri pomicole generale la popoarele din sudul Mediteranei.

Tot în vechime se poleniza artificial smochinul (*Ficus carica*) și sicomorul *(Ficus sycomorus)*.

2. S-a recunoscut din vremuri imemoriale că rădăcina nu are numai rolul de fixare ci și acela de sugere a hranei din pămînt. Această hrană se confunda cu „grăsimea" (pinquitudo) pămîntului care trebuie refăcută prin „îngrășare" artificială. Se cunoștea „îngrășămîntul verde".

3. Se observase mereu fenomenul încolțirii și al creșterii; al înmuguririi, înfloririi și al fructificării. Se practica butășirea și altoirea.

Aceste cunoștințe populare au fost incorporate și în tratatele științifice ale savanților din antichitate, care au meritul de a le fi interpretat apoi toate prin analogie cu animalele și de a le fi încadrat în general în concepțiile filozofice proprii. Din punctul nostru de vedere ele reprezintă însă și un aspect negativ față de „fiziologia" populară. În timp ce poporul ajunsese la anumite convingeri și practici în urma unei experimentări primitive dar milenare, niciunul din filozofii naturaliști ai antichității nu a avut inițiativa de a verifica experimental cunoștințele culese din popor sau pe acele obținute prin observații proprii.

Empedocles (495-436 î.e.n.) este, se pare, întîiul care scrie despre sexualitatea plantelor, susținînd existența a două sexe, atît la animale cît și la plante. Fructele le găsește analoge cu ouăle. Atribuie și plantelor aceleași proprietăți afective și chiar intelectuale ca și animalelor, ceea ce s-a interpretat ca o concepție proprie a lui Empedocles despre contrastul dintre lumea vie și lumea neorganizată.

Aristoteles (384-322 î.e.n.), cel mai mare filozof al antichității, a dominat gîndirea și în special naturalismul european aproape două milenii. Este regretabil că deodată cu numeroase opere scrise de el, s-au pierdut și considerațiile lui despre lumea plantelor. Ceea ce ne stă la dispoziție în această privință sînt o seamă de fragmente culese din scrierile elevilor și urmașilor lui, care i-au reprodus și comentat teoriile „fitologice". Este sigur deci că imaginea ce ne-o putem forma despre ideile fitofiziologice ale lui Aristotel, este incompletă, ba este cu putință ca ea să nu fie fidelă.

Opiniile lui Aristotel despre plante au fost formulate în spirit deductiv, prin analogie cu organizația și viața animalelor. El consideră rădăcina echivalentă cu gura animalelor, care servește la incorporarea alimentelor. În schimb crede că solul servește drept un fel de stomac al plantei unde alături de căldură se prepară hrana plantei, atît de complet, încît ea trece întocmai în corpul plantei fără nici o modificare. De aceea planta nu are excremente. Susține că această hrană e consumată mai ales de fructe care cînd sînt prea multe, istovesc cu totul planta însăși.

Scanned with OKEN Scanner

Crede și el în sexualitatea plantelor, dar o interpretează tot prin deducție din cele ce se constată la animale. Sexele sînt repartizate la animale pe indivizi diferiți atunci cînd aceștia sînt capabili de mișcare proprie. La animalele inferioare fixate, sexele sînt, în schimb, comune în fiecare individ. Același lucru se petrece la plante, care sînt ființe sedentare. Drept organe de înmulțire Aristotel indică fructul și sămînța. La aceasta din urmă recunoaște o parte care dă naștere de fapt noii plante și o altă parte care servește pentru nutriția plantei pînă cînd este mică. Dar plantele se pot înmulți și prin butași și rădăcini iar ciupercile pot lua ființă direct din gunoi.

Faptul că o sămînță dă naștere întotdeauna aceleiași plante, care a produs-o, este după Aristotel o taină, dar și o proprietate esențială a plantei.

Aceste idei fragmentare ale lui Aristotel despre viața plantelor au avut ecoul milenar în știința naturalistă de mai tîrziu, nu atît prin ele însile cît prin concepțiile aristoteliene generale care le dădeau prestigiu și care au influențat profund gîndirea medievală și scolastică. Amintim că Aristotel credea într-un suflet al plantelor; într-un principiu propriu organismelor (entelechia), responsabil pentru realizarea prin sine însăși a formei unei ființe, pentru realizarea scopului și a perfecționării organismului.

*Theophrastos Eresios** (371-286) este elevul, prietenul, apoi urmașul lui Aristotel în conducerea școlii peripatetice. Se afirmă că a călătorit pînă spre India și că avea o grădină botanică în Atena. In orice caz în cărțile sale „Peri phyton historia" (Despre istoria plantelor) și „Peri aition phytikon" (Despre cauzele plantelor) sînt acumulate neobișnuit de multe și de precise cunoștințe floristice, fitogeografice, chiar ecologice, taxonomice, fiziologice și fitopatologice. Este considerat, pe bună dreptate, drept cel mai mare botanist al antichității.

Cartea sa despre „cauzele plantelor", prin care trebuie să înțelegem condițiile de viață ale plantelor, este de fapt un tratat de fiziologie vegetală cu aplicații practice, care cuprinde noțiuni de înmulțire, de germinare, de creștere, de ontogenie, de influența climei și a solului asupra plantelor, de boli'e vegetale.

Ceea ce ridică într-o măsură cu totul deosebită valoarea considerațiilor fiziologice ale lui Teofrast, este nu numai marea lor mulțime și precizie, ci mai ales *metoda inductivă* prin care se deosebește de Aristotel. Teofrast făcea observații precise parțiale, sau înregistra informații demne de încredere pe care le trata obiectiv, încercînd să tragă concluzii generale după cunoașterea mai multor fenomene. În această privință s-a dovedit a fi un adevărat naturalist. Nici Teofrast nu a trecut însă niciodată la experimentare din care cauză nu poate fi considerat nici el fiziolog în înțelesul științific, actual, al cuvîntului.

Pentru a ne da totuși seama de amploarea preocupărilor lui Teofrast și de obiectivitatea observațiilor lui, dăm cîteva mostre. El citează cazuri și interpretări mai precise decît *Empedocle* cu privire la sexualitatea plantelor și se ocupă în mod special și de altoiri. Dedică un capitol

*] Teofrast din Eres. Originar se numea Tyrtamos dar afirmativ magis'rul său, Aristotel, l-a poreclit Teofrast din cauza vorbirii sale frumoase (Theo-phrastos—divin cuvîntătorul).

întreg mișcărilor executate de frunze și de flori în cursul zilei și al anului, ba amintește de o plantă din Memphis ale cărei frunze se strîng la simpla lor atingere. În special citează cazuri pe care le cunoaștem azi sub numele de mișcări nictinastice. Cunoaște toate 3 rasele ecologice de vîsc și știe că germinează numai pe copaci din semințe răspîndite prin păsări *. Consideră vîscul drept o minune: e verde și totuși nu trăiește pe pămînt, ci ia hrana de-a-gata din copaci. De ce este în acest caz verde și puternic nu palid și slab? (ca alte plante care sug hrana din corpul altora). Iar dacă e verde și tare, de ce nu trăiește pe pămînt? În aceste meditații despre vîsc se întrezărește la *Teofrast* o vagă reprezentare despre autotrofie și parazitism. El amintește într-adevăr și alte parazite, ce-i drept mai mult cu numele.

Fig. 1. *Teofrast din Eres* (371—286 î. e. n.).

Dacă Aristotel a dominat cultura veacurilor următoare ca filozof, Teofrast în schimb, a reprezentat principalul tezaur clasic de informații și comentarii în domeniul botanic. Chiar ceilalți savanți greci, mai ales din școala alexandrină, care au scris înainte de toate botanică medicală, stau sub influența lui Teofrast. Singurul dintre aceștia, care a dezbătut probleme de fiziologie, *Nikolaos Damaskenos* din veacul I î.e.n., s-a inspirat tot din opera lui Teofrast.

*) Progres enorm față de *Aristotel*, care consideră vîscul drept o nouă plantă ieșită din alta.

In literatura antică greacă nu mai găsim botaniști care să se fi ocupat de viața plantelor. Intîlnim însă considerații de această natură la autorii romani de botanică agricolă. Citățm în special pe *M. Terentius Varro* (118—30) care în cele 3 cărți ale sale intitulate „De re rustica" aprofundează morfologic și chiar fiziologic unele plante de cultură în vederea unei cît mai bune producții a acestora. Varro merită mențiune specială pentru descrierea fototropismului prin următoarele cuvinte: „este cu totul remarcabil ceea ce arată multe flori, numite heliotropice, pentrucă ele privesc dimineața spre răsăritul soarelui și urmăresc cursul soarelui pînă la apusul lui, așa încît ele privesc întotdeauna spre el".

Plinius Secundus, „Bătrînul", (23—79) ne-a lăsat una din cele mai voluminoase opere naturaliste din antichitate, *„Historia naturalis"* sau *„Historia mundi"* în 37 de „cărți" (capitole). Cărțile 12-27 cuprind botanica lui *Plinius*. Este o operă de compilație, în care s-a servit mult de *Teofrast,* dar în care adaugă foarte multe informații noi, relativ puține observații personale și nici o experiență. Botanica lui Plinius are înainte de toate un scop practic: agricol, horticol, medicinal.

Fiind o operă naturalistă atît de bogată și avînd norocul să fie transmisă în întregime posterității, istoria naturală a lui Plinius deasemenea a fost una din cele mai mult consultate, pînă în evul nou, dar mai mult ca un fel de enciclopedie de cunoștințe și nu ca o sursă de concepții despre viață, cum au fost operele naturaliste ale filozofilor greci, în special a lui Aristotel.

Printre considerațiile de botanică aplicată a lui Pliniu, găsim cu totul sporadic și unele care privesc viața plantelor. Vorbește de exemplu mai lămurit de indivizii masculi și femeli ai curmalului și înfățișează poetic actul „fecundării". Pe cît știm Pliniu este întîiul naturalist care ne informează de rolul unor Leguminoase (Lupinus, Vicia) de a „îngrășa" solul. In schimb Equisetum-ul strică pajiștile și trebuie stîrpit. Cunoaște altoiri intergenerice. Despre sămînța de vîsc știe că germinează abia dacă trece prin stomacul păsărilor. Despre trifoi spune că își închide frunzele cînd se apropie furtuna.

*

* *

In *evul mediu,* literatura apuseană fusese dominată la început aproape exclusiv de mistica religioasă. Naturalismul era cultivat în această perioadă mai mult în Orient, iar într-un timp în special de Arabi. Aceștia au întregit mult inventarul plantelor față de Teofrast, Pliniu și Dioscoride, dar nu ne-au adus în privința vieții plantelor nici o noutate remarcabilă față de clasicii citați. Experimentarea și chiar observația analitică încă nu ajunseseră a constitui metode de cunoaștere.

Intre timp în apusul Europei se înmulțiseră școlile, chiar cele superioare, unde se propagă o filozofie oficială a cărui rol principal consta în a fundamenta științific, prin rațiune, dogmele bisericești. De la „schola", unde se răspîndea această filozofie, s-a numit *scolastică* iar propagatorii și adepții ei: *scolastici.* Izvorul lor principal de inspirație și documentare, a fost filozofia lui Aristotel. Firește că în atmosfera ei metafizică, teleologică și deductivă, naturalismul nu a progresat, cu atît mai

puțin fiziologia vegetală, care presupune alături de observația analitică și metoda cauzală, inductivă, a experienței.

Perioada propriu zisă a scolasticei a durat între veacul al 9-lea și al 15-lea. În acest lung răstimp puținele scrieri botanice, întemeiate mai ales pe botaniștii antichității, nu aduceau nimic nou și serveau mai ales scopuri farmaceutice și agricole.

Declinul scolasticei coincide cu epoca *renașterii,* care a readus omul cu întreaga lui viață afectivă, precum și natura înconjurătoare în centrul preocupărilor artistice, filozofice și științifice. Noul tip, profan, de filozofie și știință: *humanismul* a dat un avînt cu totul neobișnuit și cercetării naturii, cu atît mai mult, cu cît se descoperise un nou continent și se angajaseră călătorii lungi prin diferite zone de vegetație. Se inventase tiparul, din care se scoteau cu spor, pentru mulți cititori deodată, nu numai operele naturaliștilor greco-romani, ci și tratate noi din ce în ce mai numeroase.

În această epocă de tranziție pentru concepția și metoda naturalistă, botanica se îmbogățește rapid cu cărți de floră și de ierbarii, cum sînt ale lui *Otto Brunfels* (1490-1534), *Hieronymus Bock* (Tragus) (1498-1554), *Leonhard Fuchs* (1501-1554), *Leonhart Rauwolf* (? -1596), *Iakob Theodor Bergzabern* (Tabernaemontanus) (? -1590) în țările germane, *Konrad Gessner* (1516-1565), *Kaspar Bauhin* (1550-1624) în Elveția; *Petrus Andreas Matthioli* (1501-1557), *Antonius Musa Brasavola* (Brasavolus) (1500-155), *Andrea Cesalpino* (Caesalpinus) (1519-1603), în Italia; *Rembert Dodoens* (Dodonaeus) (1517-1588), *Mathias de l'Obel* (Lobelius) (1538-1616), *Charles de l'Ecluse* (Clusius) (1526-1609) din Țările de Jos; *Jacques Dalechamp* (1513- ?) în Franța; *Adam Zaluziansky* în Boemia.

Acești zeloși botaniști-humaniști continuau a fi adepți respectuoși și tributari ai botaniștilor antici, au fost însă originali și progresiști în sensul că descriau în florele lor plante noi din teritoriile lor naționale adăugîndu-le felul cum sînt numite și utilizate de popor. Unde era cazul și chiar permiteau să aducă îndreptări personale în comentariile lui Dioscoride, Pliniu și Teofrast. Ei nu s-au ocupat în general de probleme fiziologice. Menționăm totuși pe *Cesalpino,* care utilizînd metoda aristoteliană a analogiei cu animalul, sprijinită de unele observații personale, susține că există și la plante o circulație de sevă, așa cum descoperise *Harvey* la animale; ea se desăvîrșește prin fibrele rădăcinii și tulpinii, ca și prin „venele" frunzelor. Fibrele radicale au structura și acțiunea unui fitil cu natură absorbantă („bibula natura"). Experimentarea însă încă nu ajunsese a constitui o modalitate de cunoaștere. Opera acestor botaniști trebuie considerată ca o punte de trecere dintr-o lume de concepții și atitudini la alta.

Adevăratul naturalism care constituia și punctul de plecare pentru fiziologia plantelor, a fost dezlănțuit revoluționar prin opera profesională și ideologică a unor eroi și chiar mucenici ai artei și științei cum au fost multiplul artist, inginer și naturalist *Leonardo da Vinci* (1452-1519), astronomul *Nicolae Kopernik* (1473-1543), astronomul *Johann Kepler* (1571-1630) și poate mai presus de toate fizicianul și astronomul *Galileo Galilei* (1564-1642), răzvrătiții dogmatismului aristotelian scolastic și ai prejudecăților mistico-metafizice pe care le implica. Ei s-au apropiat cu

rațiunea liberă și cu logica dreaptă de fenomenele naturii, pe care le-au cercetat obiectiv căutînd să găsească prin metoda inductivă, experimentală, cauzele fenomenelor și legile lor generale. Opera lor de explorare, pilduitoare din acest punct de vedere, au însoțit-o în general de considerații metodologice care împreună cu răsunătoarele lor descoperiri au produs un reviriment tumultuos în concepția despre viață și despre natură, în metoda de a le cerceta și interpreta. Noua *metodă experimentală* a fost fundamentată din punct de vedere filozofic mai ales de filozoful englez *Francis Bacon de Verulam* (1561-1626), care în special în cărțile sale: „Novum Organum scientiarum" (adică noua logică opusă „Organon"-ului aristotelian), „De dignitate et augmentis scientiarum", „Sylva Sylvarum" (postumă), arată că omul de știință trebuie să se elibereze complet de „idoli", de prejudecăți de orice fel; el trebuie să cerceteze natura prin propria sa experiență, inductiv; să descopere esența lucrurilor și cauzelor lor. „Vere scire est per causas scire" (a ști adevărul însemnează a-l cunoaște prin cauzele sale). Din științele naturii derivă toate celelalte; scopul lor este să cerceteze și să interpreteze cu exactitate natura pentru ca să o putem stăpîni.

Metoda experimentală a însemnat o descătușare. Insușită avid de unii oameni de știință ai veacului al 17-lea, ea a inaugurat o nouă epocă în gîndirea și creația științifică a omenirii. Ea a condiționat nașterea și dezvoltarea disciplinei de care ne ocupăm.

Epoca II (1600-1805)

Intîia experiență de fiziologie vegetală de care avem pînă acum cunoștință, se datorește lui *Johannes Baptista van Helmont,* chimist, filozof, medic și naturalist din Țările de Jos (1577-1644). În jurul anului 1600, Van Helmont pune într-un vas pămînt uscat, care cîntărea exact 300 funți. Sădește în el o ramură de salcie de 5 funți greutate. Ferește apoi pămîntul din vas de orice impurități, dar îl stropește regulat timp de 5 ani, cînd demontează experiența. Constată că salcia a ajuns la 165 de funți, în timp ce solul a scăzut cu abia 2 uncii (60 g). Concluzia lui Van Helmont este că planta nu-i ia hrana de-a gata din pămînt, cum susținea Aristotel. În schimb ea crește și se îngreunează pe socoteala apei, din care își prepară singură hrana. Metoda experimentală i-a permis lui *Van Helmont* să doboare cu certitudine și cu nu mai puțin curaj teoria nutriției vegetale formulată cu 19 veacuri și jumătate mai înainte de Aristotel. Starea înapoiată a științei în general nu i-a îngăduit însă să bănuiască măcar, că o fracțiune importantă din cîștigul în greutate al salciei se datorește carbonului luat din atmosferă sub formă de CO_2. Din aceeași cauză nu putuse aprecia importanța celor 2 uncii de substanțe minerale pierdute în sol în timpul celor 5 ani.

Experiența epocală pentru fitofiziologie a lui Van Helmont nu a avut puterea de a rupe zăgazurile și de a croi dintr-odată un curs nou și viguros. Mentalitatea dogmatică și metoda deductivă, interpretările metafizice rupte de realitățile obiective mai persistau în aria științifică, ba din timp în timp înregistrau faze de accentuare. În acest climat al cercetării și interpretării, fiziologia plantelor înainta relativ încet trecînd prin perioade de lumină și de umbră. Progresul ei general se decisese însă, iar evoluția paralelă a științelor auxiliare o fortificau mereu cu noi teme, cu noi metode de investigare, cu noi perspective de interpretare.

Cu vreo 3 decenii după experiența lui Van Helmont, un elev al lui *Cesalpino*: *Ioachim Iungius* (1587-1657) ajunge și el la concluzii antiaristoteliene în privința nutriției plantelor, prin observații mai atente, dar mai ales prin judecată logică, eliberată de dogmatism. El constată în opoziție cu *Aristotel*, că plantele elimină diferite substanțe prin frunze, flori iș fructe, cum ar fi rășinile, diverse sucuri, vapori, poate și alte materii gazoase nevăzute. În corpul plantei se petrece deci o activitate chimică. Planta nu este pasivă în procesul nutriției și este probabil că rădăcina ei este astfel organizată încît numai anumite substanțe necesare sînt absorbite din sol, nu toate.

În veacul al 17-lea, veacul microscopului și chiar al primelor microscoape compuse, ia ființă și ajunge la o impresionantă dezvoltare anatomia vegetală. *Robert Hooke* (1635-1703) descopere celula la 1667, *Marcello Malpighi* (1628-1694) și *Nehemia Grew* (1628-1711) pun temeiurile

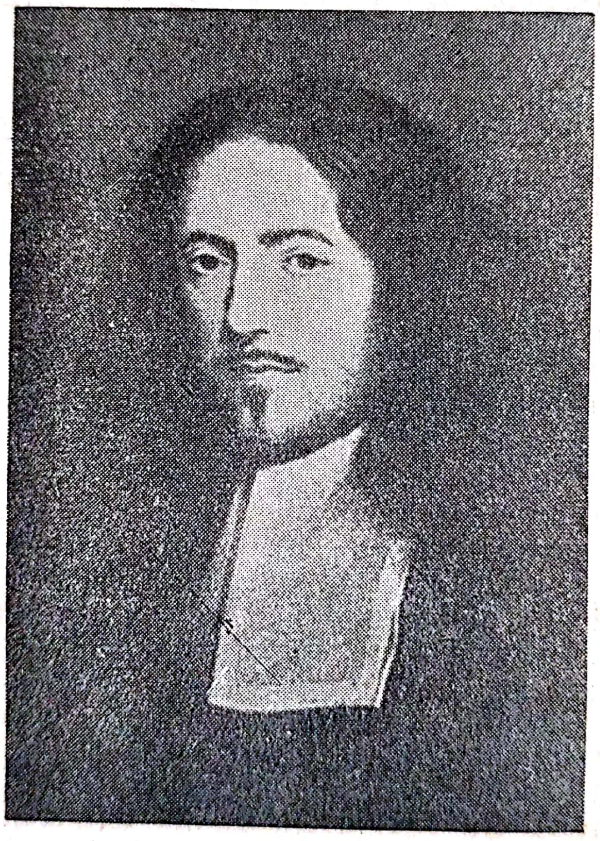


Fig. 2. *Marcello Malpighi* (1628—1694).

solide ale anatomiei vegetale, iar *Antony van Leeuwenhoek* (1632-1723) descoperă plantele unicelulare și mișcările lor. Este natural că asemenea noutăți au pus probleme fiziologice și au creat ipoteze de lucru pentru experiențe fiziologice.

Hooke de ex. recunoaște prin experiențe proprii, importanța „articulațiilor" (pulvinulelor) de la baza frunzelor în mișcările Mimosei.

Malpighi aduce contribuții cardinale în teoria nutriției. El recunoaște pentru prima dată *importanța frunzei* în nutriție, plecînd de la observații și

experiențe făcute cu cotiledoanele de dovleac, care se transformă în frunze verzi. Ajunge la concluzia, că sucul nutritiv adus de elementele fibroase ale lemnului și nu de „trahee" — nume dat de Malpighi —, care după el conduc aer, este preparat în frunze cu ajutorul razelor solare. În același timp el atribuie un rol asemănător și parenchimului cortical. Sucul cu hrana preparată călătorește, foarte probabil, prin țesutul liberian atît în jos spre rădăcină, cît și în sus spre ramurile tinere și spre fructe. Seva absorbită din sol asemenea poate să circule și în jos, fapt pe care-l stabilește experimental printr-un butaș înfipt cu partea sa superioară în sol. Butașul dă rădăcini la capătul său originar superior, și se transformă în copăcel irigîndu-și tulpina, deci în sens invers față de normal.

Malpighi cunoaște bine procesul germinației.

Interesantele observații ale lui Leeuwenhoek asupra locomoției unicelularelor, au rămas deocamdată fără vreun ecou în experimentarea fiziologică.

*

* *

Sfîrșitul veacului al 17-lea și veacul al 18-lea, marchează un progres victorios al metodei experimentale în științele fizico-chimice și matematice. Este epoca lui *Newton* (1643-1720), a lui *Lomonosov* (1711-1765) și a lui *Lavoisier* (1743-1794). Pe urma lor și a multor altora experimentarea a luat locul speculației din ce în ce mai mult și în fiziologie, iar interpretarea teleologică-metafizică a fenomenelor, a cedat progresiv în fața interpretării cauzale și a invocării legilor mecanice în explicarea proceselor vitale.

Probleme fiziologice abia atinse în tratatele de mai înainte, cum ar fi aceea a creșterii, a mișcărilor, a respirației, a transpirației și în general a eliminării apei, a metabolismului, a sexualității, au fost smulse cu hotărîre din penumbra presupunerilor și a opiniilor riscate pentru a fi cercetate prin experiențe sau prin observații analitice, eliberate de prejudecăți. Alături de acestea problemele absorbției și ale circulației apei, dar mai ales ale nutriției autotrofe, privite mai cu interes și în perioada precedentă, alcătuiesc de acum teme fundamentale de cercetare.

Un semn categoric al progresului fiziologiei vegetale din acest răstimp este apariția, alături de opere sistematice și morfologice de sinteză, a unor *tratate de fiziologie* de mare însemnătate istorică pentru răspîndirea rezultatelor de pînă atunci, pentru popularizarea tematicei și a metodelor de cercetare, pentru deșteptarea dorinței de a pune noi probleme fiziologice și a le explora prin metode adecvate.

Subliniem din aceste tratate în special:

1. *Vegetable statics,* publicată la 1727 de *Stephen Hales** drept întîiul volum al operii sale: *Statical Essays* (London), este o carte cu

*) *Stephen Hales* (1677—1761) fizician și fiziolog englez, membru al Societății regale din Londra, unde și-a citit întîi experiențele.

adevărat epocală. Potrivnic scolasticei și impresionat de descoperirile lui Newton, Hales a încercat să explice fenomenele vieții prin procese mecanice, experimental verificabile. În cartea lui găsim 124 experiențe ingenioase, îndrăznețe și foarte precise, care au constituit la timpul lor o adevărată revelație. Problemele principale urmărite prin experiențele lui sînt circulația sevei și nutriția. Hales este părintele fiziologiei vegetale experimentale.

Fig. 3. *Stephen Hales* (1677 – 1761).

2. *Physique des arbres* publicată în două volume, la 1758 de *Duhamel* * este un tratat de anatomie, dar mai ales de fiziologie, cuprinzînd sinteza cunoștințelor de pînă atunci, precum și experiențe proprii privind procesele vitale ale arborilor. Mai puțin izbutit decît al lui *Hales*, tratatul lui *Duhamel* a avut totuși un mare răsunet mai ales în Franța.

3. *„Physiologie végétale"* a lui *Jean Senebier* **, publicată în 1791 într-o ediție mai redusă, a fost tipărită la 1800 în 5 volume. Ea tratează

*) *Henri Louis Duhamel du Monceau* (1700-1781), a studiat pomicultura. Membru al Academiei de Științe din Paris; într-un timp ministrul marinei.

**) *Jean Senebier* (1742-1809) pastor evanghelic, apoi bibliotecar în Geneva. S-a ocupat în special de influența luminii asupra plantelor.

în special teoria nutriției așa cum se cunoștea atunci din cercetările diferiților autori și în bună parte chiar din ale lui Senebier. Este întîiul manual de vastă factură al fitofiziologiei, scris într-un spirit științific foarte avansat, întrucît dezvoltă chimismul vieții vegetale bazat pe teoria chimică, recentă pe atunci, a lui Lavoisier.

Tot în această perioadă se înmulțesc și iau un mare avînt *universitățile,* de unde încep a se împărtăși și probleme de fiziologie vegetală. Dar un rol poate chiar mai important revine în această privință *academiilor de științe,* unele înființate încă ceva mai înainte, care încep a acorda premii pentru cele mai bune lucrări tratînd probleme științifice înainte fixate. Ele dispuneau în general de periodice științifice proprii de largă răspîndire. În acestea sau sub formă de monografii au fost editate numeroase lucrări de anatomie și fiziologie vegetală. Citățm în special Societatea științifică din Londra (Royal Society; din 1663) cu dările ei de seamă (Philosophical Transactions); Academia germană de științe naturale („Academia naturae curiosorum"; din 1652) cu revista ei „Miscellanea", apoi „Ephemerides..." și „Acta..."; Academia de Științe de la Paris (Académie des Sciences; din 1666); Academia de științe din Rusia (Academia scientiarum imperialis Petropolitana; din 1728) cu „Comentarii...", apoi „Novi commentarii...", „Acta..." și „Nova Acta...".

În periodicele academiilor sau sub formă de studii independente apar lucrări de fiziologie vegetală conturate, rezultate de pe urma unor observații și mai ales experiențe dedicate unei probleme sau unui complex de probleme fiziologice. Asemenea contribuții reprezintă o noutate față de timpurile mai vechi, dar ele urmează a constitui de aci încolo maniera obișnuită de împărtășire a cercetărilor, manieră rapidă, cu sorții cei mai buni de răspîndire a rezultatelor și de stimulare a cercetărilor.

Este util, credem, să arătăm cîteva din cele mai de seamă contribuții de acest fel din perioada de care ne ocupăm, contribuții de bază pentru progresul disciplinei noastre.

1. Renumitul fizician *Edme Mariotte* (1620-1684) a făcut cîteva observații și experiențe precise în legătură cu funcțiunile plantelor și a trecut în revistă cu foarte interesante adnotații critice de fizician, toate problemele fitofiziologice dezbătute pe vremea sa. Considerațiile sale le-a grupat într-o lucrare: *„Sur le sujet des plantes"* scrisă în 1679, dar tipărită postum în *„Oeuvres de Mariotte"* la 1717 în Leyden. *Mariotte* neagă existența unui suflet al plantelor preconizat de Aristotel și reduce funcțiunile plantelor la procese fizico-chimice. Teza aristoteliană a alimentului vegetal luat în întregime și nemodificat din sol, *Mariotte* o combate cu următoarele argumente: 1) pe un petec de sol conviețuiesc plante cu chimism diferit, cu substanțe foarte variate care nu se găsesc în sol; 2) după altoire altoiul nobil produce fructe cu alte însușiri chimice decît portaltoiul pădureț. Nu mai încape îndoială că toate aceste substanțe sînt produse de către plante și anume substanțe particulare de către fiecare plantă. Mariotte descoperă transpirația vegetală și arată metode precise de a-i măsura intensitatea. Recomandă experiențe doveditoare pentru dubla direcție a sevei brute.

Scanned with OKEN Scanner

2. Medicul olandez *Jan Ingen Housz* (1730-1799), este descoperitorul fotosintezei, reușind să-i precizeze de la început condițiile principale în care ea poate avea loc. Tot el descoperă și caracterizează respirația, procesul invers al asimilației clorofiliene. Lucrarea lui: *Experiment upon vegetables discovering Their great Power of purifying the Common Air in the Sun-shine and of Injuring et in the Shade and at Night**, tipărită în 1779 la Londra a fost numaidecît tradusă în limba germană, olandeză și franceză. După ce *Lavoisier* așează chimia pe noi temelii, după ce se

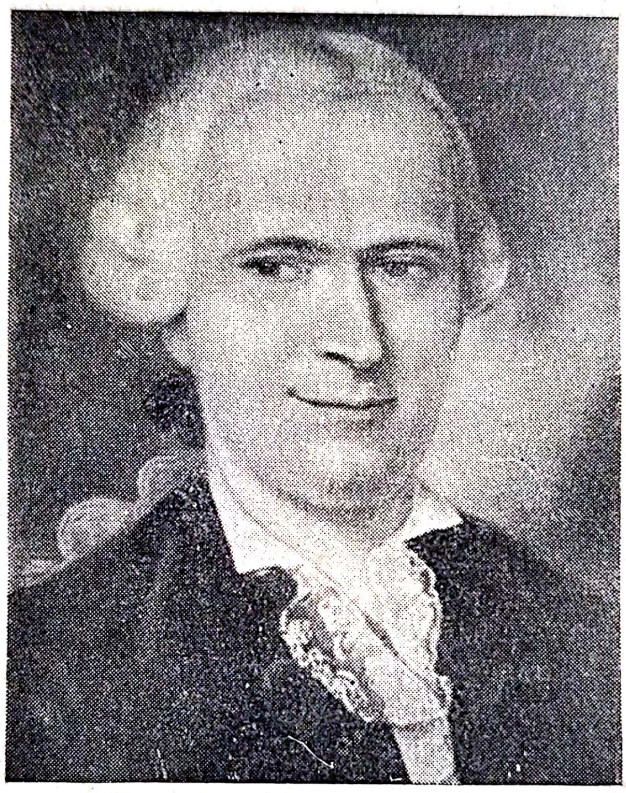


Fig. 4. *Jan Ingen Housz* (1730—1799).

cunoaște deci precis Oxigenul, gazul carbonic, compoziția apei, Ingen-Housz își publică din nou descoperirile sale în 1796, interpretate de astă dată cu termenii și noțiunile chimiei noi.

3. *Christian Conrad Sprengel* (1750-1816) profesor la Spandau, lîngă Potsdam, fusese atît de captivat de cercetările sale botanice, încît și-a neglijat postul oficial pe care a trebuit să-l părăsească. Lucrarea lui din 1793: *„Das neu entdeckte Geheimnis der Natur in Bau und Befruchtung der Blumen"* (Secretul naturii nou descoperit în organizarea și fecundarea florilor), alcătuiește temelia biologiei florale, cu cele mai bogate și mai precise observații și experiențe care fuseseră făcute în această privință înaintea lui Darwin.

*) In romînește: „Experiențe asupra plantelor, descoperind marea lor putere de a curăța aerul în lumina soarelui și de a-l strica în umbră și peste noapte".

4. *Nicolas Theodore Saussure* (1767-1845) profesor de mineralogie și geologie la Geneva, încheie epoca de care vorbim cu o lucrare de mare valoare, apărută în 1804, dar care cuprinde cercetări făcute de autor timp de mai mulți ani: „*Recherches chimiques sur la végétation*", în care se publică pentru prima dată analize chimice extinse ale plantelor și se verifică precis prin analize cantitative procesele fotosintezei și ale respirației, arătînd relația dintre alimentele prime și produsele care rămîn în plantă sau sînt eliminate. Cu acest prilej descopere că și apa este utilizată în procesul fotosintezei, că substanțele minerale și în special azotul sînt luate din sol și utilizate în asimilație. Stabilește condițiile care influențează intensitatea fotosintezei.

Evoluția principalelor probleme fiziologice din această perioadă este, pe scurt, următoarea:

În *fiziologia nutriției* progresul este decisiv. Prin cercetările lui *Mariotte, Hales, Duhamel,* se stabilise existența unui metabolism intern și propriu al speciilor de plante, care modifică chimicește alimentele brute luate din sol, iar după bănuiala lui Hales și din aer. Planta elimină deșeuri fiziologice. Chimistul *Ioseph Priestley* (1733-1804) constatase experimental că șoarecii, deci animalele în general „strică" aerul, făcîndu-l impropriu pentru viață din cauza „aerului fix" ($=CO_2$) pe care-l expiră. O plantă de mentă, deci „vegetația" poate însă repara aerul stricat făcîndu-l din nou propriu vieții. În aceste primitive și popular interpretate experiențe, trebuie să vedem o primă, dar tulbure și cu totul necompletă reprezentare în mintea omenească a fotosintezei. Cel ce a dovedit cu precizie și cu genială putere de interpretare fotosinteza a fost, după cum văzurăm, *Ingen Housz,* care arăta rolul luminii, al culorii verzi, al CO_2-ului din aer, eliminarea O_2-ului și raportul invers între fotosinteză și respirație. Senebier și mai ales Saussure lămuresc experimental atît de mult descoperirea lui Ingen Housz, încît abia peste o jumătate de veac au putut fi depășiți de cercetările ulterioare.

În această epocă se descoperise nutriția insectivorelor *Dionaea (Ellis,* 1769), *Drosera (Roth,* 1782; *Goethe,* 1785), *Sarracenia (Bartram,* 1791).

Respirația plantelor fusese afirmată încă de Malpighi și Hales, în sensul necesității aerului pentru plante, la fel ca pentru animale. Ei nu puteau cunoaște încă nimic din chimismul respirației. Chimistul suedez *Carol Vilhelm Scheele* a dovedit experimental, că semințele germinate produc un gaz ce stinge lumînarea. Tot *Ingen Housz* a stabilit experimental că respirația este fenomenul invers al asimilației, credea însă că plantele verzi respiră numai noaptea, în timp ce cele lipsite de culoarea verde respiră zi și noapte. *Saussure* a fost de astă dată acela care a adus deplină lumină în această privință și prin analizele sale chimice a dovedit că în cursul respirației vegetale se produce și apă. Șase decenii au trebuit să treacă de la cercetările lui Saussure, ca ele să fie crezute în general, în urma unor noi verificări și descoperiri.

În privința *circulației apei,* se făcuseră cele mai numeroase experiențe. Prin metoda inelărilor aplicată de *Hales, De la Baisse* (1733), *Duhamel* etc., prin metoda coloranților aplicată încă de *Pierre Magnol* (1638-1715), sau prin metoda combinată a coloranților și a inelării aplicată de *Thomas Andrew Knight* (1758-1838) s-a ajuns la cunoașterea drumurilor de circulație a sevei brute și elaborate. *Hales* a dovedit că

Scanned with OKEN Scanner

apa este împinsă de jos în sus în multe cazuri. Transpirația descoperită de Mariotte, pusă în evidență de *Peter van Musschenbroek* (1692-1761) a fost precis măsurată de *Hales*. Gutația semnalată încă de *Abraham Munting* (1626-1683) la *Colocasia*, dar mai ales lăcrimarea ajunsese să fie bine cunoscută de *John Ray* (1628-1705), *Hales* și *Duhamel*.

În ce privește *creșterea prin întindere*, *Hales* făcuse experiențe foarte precise cu măsurători, la tulpină și la frunză, iar la sfîrșitul epocii (1805) *Knight* dovedise tot experimental, că între creșterea mugurilor există o corelație: îndepărtînd unul, se modifică felul de creștere al celuilalt.

Mișcările plantelor au fost mai cu dinadinsul observate, ba au început a se executa experiențele primitive în legătură cu ele. Cu toate acestea etiologia lor atinsă doar de unii cercetători, a rămas o problemă minoră. Absoluta majoritate a botaniștilor, inclusiv *Linné*, atentul observator al mișcărilor fotonastice și nictinastice, au continuat a crede că plantele nu se mișcă. Această opinie greșită a persistat din cauza raționamentului prin analogie: prin mișcare se înțelegea în general numai locomoțiunea, așa cum o execută animalele.

Totuși problema mișcărilor tropice și nastice a progresat în parte chiar pe baze experimentale. Geotropismul plantelor a fost de mult observat și semnalat. Nu s-a putut depăși însă interpretarea finalistă, după care radicula se întoarce spre întunericul și umezeala solului din care își scoate hrana, iar tulpinița spre lumină. Doar *Dionys Dodart* (1634-1707) încerca să explice la 1699 curburile geotropice prin întinderea diferită a fibrelor rădăcinii și tulpinii pe latura mai umedă. Abia la sfîrșitul epocii și începutul celei următoare (1806) a reușit *Knight* să dovedească prin experiențele sale că o forță mecanică: gravitatea pămîntului, este cauza curburilor, numite tocmai din cauza aceasta „geotropice" de către *Frank* la 1868.

Mai evidente și ceva mai bine cercetate au fost curburile heliotropice. Încă *Ray* la 1686, apoi *Scharrok* la 1694, credeau că fenomenul se reduce la creșterea diferită din cauza temperaturii inegale pe cele două laturi ale organului. Hales credea dimpotrivă că o transpirație mai intensă de partea luminată determină curbura.

Au fost observate și desenate în această perioadă destul de amănunțit mișcările fotonastice, nictinastice, seismonastice, mișcările de rapt ale insectivorelor *Dionaea* și *Drosera*, fără însă a depăși în general interpretarea finalistă. Doar *Hill* a dedus din experiențele sale din 1768, că mișcările periodice ale Mimosei depind de lumină.

Taxiile asemenea au fost observate, ba uneori cauzal interpretate. *Collomb* de ex. la 1791 și *Olivi* la 1793, au stabilit puterea de orientare a luminii asupra mișcării zoosporilor.

Curenții protoplasmatici fuseseră observați încă la 1772 de către *Bonaventura Corti* (1729-1813), dar interpretați atît de el cît și de urmașii lui pînă în mijlocul veacului al 19-lea drept „circulația sevei". Noțiunea protoplasmei abia de atunci a ajuns să se contureze.

Dintre problemele fitofiziologice dezbătute în această perioadă, cel mai înalt grad de maturitate și cu cele mai conștiincioase experimente l-a atins aceea a „sexualității" prin care, conform doctrinei botanice de atunci,

*) *Peter van Musschenbroek*, fizician din Leyden.

trebuie să înțelegem repartizarea sexelor pe stamine și pistil, actul polenizării echivalent cu fecundarea, formarea fructului și hibridizarea la Fanerogame. Sexualitatea plantelor inferioare încă nu era cunoscută.

Încă *Rudolf Iakob Camerarius* (1665-1721), stabilise prin experiențe făcute cu *Mercurialis annua, Ricinus, Morus, Spinacia,* că la plante există 2 sexe și că sămînța nu se produce decît dacă florile bărbătești au preparat în prealabil pe cele femeiești (1694). În 1751 *Johann Gottlob Gleditsch* (1714-1786) executase experiența memorabilă de la Berlin („experimentum berolinense"): a adus polen de *Chamaerops humilis* de la Lipsca și cu el a polenizat un exemplar femel din aceeași specie de la Berlin obținînd fructe mature. Sistemul „sexual" al lui *Linné* s-a bazat pe observația precisă a staminelor și pistilelor și deși el interpreta sexualitatea plantelor mai mult filozofic, scolastic, ajunge în baza unor experiențe la aceleași concluzii ca și *Camerarius.*

Experiențe cu adevărat științifice de polenizare și hibridizare, cu rezultate ferme, a făcut *Joseph Gottlieb Koelreuter* (1733-1806), prin 1761-1766, dar problema a ajuns să fie lămurită cu cea mai amplă documentare experimentală de *Sprengel,* despre a cărui lucrare din 1793 s-a vorbit mai înainte.

Am insistat mai mult asupra acestei interesante epoci de largă îmbrățișare a metodei experimentale în fiziologie, epocă în care problematica fiziologică s-a îmbogățit și s-a precizat în mod progresiv, iar interpretările materialiste au ajuns să covîrșească pe cele scolastice-metafizice. În special teoria nutriției autotrofe și a sexualității Fanerogamelor ajunseseră spre sfîrșitul epocii la o adevărată strălucire în urma aplicării metodei experimentale și a logicei eliberate de dogmatism.

Epoca III (1805-1860)

Pietrele de hotar ale acestei noi epoci sînt pe de o parte clasicele rezultate experimentale ale lui *Saussure* în metabolismul plantelor autotrofe și ale unui *Knight* în mișcările geotropice; ivirea și rapida răspîndire a darvinismului pe de altă parte.

Această epocă scurtă, dar de *largă oscilație ideologică* în biologie în general și în fiziologie în special, este cît se poate de instructivă. Ea se caracterizează prin o puternică influență vitalistă în primele ei 4 decenii și prin o tot atît de puternică reacție materialist-mecanicistă în ultimele două.

Cu tot progresul fizicei și al chimiei în acest timp, avîntul atît de promițător al fiziologiei vegetale de la sfîrșitul perioadei precedente a fost frînat, iar rezultatele obținute au fost, cel puțin în parte, ignorate. Cauza trebuie să o căutăm în pătrunderea „naturfilozofiei" în biologia de la începutul veacului trecut.

Este fără îndoială adevărat că și în epoca precedentă naturaliștii au explicat fenomenele naturii, inclusiv ale vieții mai adesea prin punerea în cauză a unei puteri supranaturale în cazurile cînd cauzele firești nu mai erau accesibile. Dar în fiziologia vegetală metoda experimentală bine aplicată reușise să obțină rezultate obiective, revoluționare, în multe probleme, atît de misterios explicate mai înainte. Cu începutul veacului al 19-lea însă biologia vitalistă care susținea existența unei forțe vitale drept

Scanned with OKEN Scanner

agent al fenomenelor vieții, a devenit aproape o știință oficială, mai ales în țările germanice.

Teoria nutriției vegetale este o mostră instructivă în privința efectului pe care biologia vitalistă l-a lăsat în fiziologia plantelor. De dragul unor prejudecăți, zise filozofice, admirabilele constatări experimentale și dreptele concluzii fiziologice ale lui *Ingenhausz* și *Saussure,* au fost date uitării. Biologul de mare prestigiu în epoca sa, *Christian Ludolf Treviranus* (1779-1864), unul din reprezentanții cei mai de seamă ai naturfilozofiei în biologie a scris și diverse lucrări de anatomie și fiziologie vegetală între care cea mai de seamă este opera sa de sinteză: „Physiologie der Gewächse" (Fiziologia plantelor) din 1835-1838. El neagă asimilația carbonului din CO_2-ul atmosferic, iar eliminarea O_2-ului de către plantele verzi o consideră drept respirație. Renumitul botanist *Franz Iulius Ferdinand Meyen* (1804-1840), care scrie în 1839 manualul său de fiziologie vegetală în 3 volume (Neues System der Pflanzenphysiologie), nu admite utilizarea CO_2-ului atmosferic de către plante și nici o respirație analogă cu a animalelor, ci una complicată prin acțiunea soarelui. Abia *Iulius Sachs* pe la 1860 a reînceput în țările germanice cercetări de fotosinteză plecînd de la lucrările precise ale lui Saussure.

În schimb se reactualizează teoria aristoteliană despre nutriția vegetală în noua ei versiune numită *„teoria humusului"*, conform căreia planta se nutrește cu humus, din care își procură hrana organică și în special tot carbonul. Această teorie fusese combătută la timpul său de *Ingen Housz,* dar naturfilozofia și agricultura empirică au repus-o în circulație. Însuși *Treviranus* o profesa. Ea a fost din nou combătută în țările germanice de chimistul-agronom, *Justus von Liebig* (1803-1873), în lucrarea sa din 1840: „Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agrikultur und Physiologie" (Chimia organică în aplicarea ei în agricultură și fiziologie). El arată prin măsurători că humusul nu scade, ci crește într-un sol acoperit de vegetație și că deci nu e absorbit de plante. Plantele de cultură absorb numai substanțe minerale din sol. Chiar azotul este absorbit de fapt numai sub formă de amoniac din care, după Liebig, este întotdeauna destul în sol, așa încît îngrășămîntul azotic poate fi suprimat în agricultură. Principalele substanțe nutritoare ale plantei sînt după el: CO_2, NH_3, H_2O.

Trebuie să constatăm însă că în Franța și Anglia naturfilozofia nu s-a făcut simțită în cercetarea și în doctrina fitofiziologilor. *Knight* de ex. și-a continuat experiențele sale deschizătoare de drum asupra acțiunii mecanice a gravitațiunii în curbura geotropică a rădăcinii. În 1811 descopere prin pilduitoare experiențe hidrotropismul, iar în 1812 descopere și studiază excitabilitatea tigmotropică la cîrcei, încercînd o explicație mecanică împotriva explicației lui Treviranus, care susținea că vița de vie simte aracul și se alipește de el.

În Franța neobositul *R. H. Ioachim Dutrochet* (1776-1847) a cărui însemnătate în fitofiziologie este în general, în mod nemeritat, subevaluată și-a executat imperturbabil experiențele sale fundamentale pînă la moartea sa. El este întemeietorul osmometriei și explică absorbția soluțiilor din sol, ca și transportul lor mai departe prin endosmoză (1826-1837); cercetează mersul transpirației sub influența factorilor externi, în special a luminii (1837); urmărește efectul factorilor fizici și chimici

Scanned with OKEN Scanner

asupra mișcărilor protoplasmei, cercetează și definește turgescența, imbibiția etc. și tensiunile tisulare provocate de ele; definește exact respirația și arată rolul ei exclusiv în producerea căldurii vegetale, pe care o măsoară cu un aparat termoelectric; lămurește prin experiențe precise diferite tipuri de tropisme și nastii, dovedind de ex. că în lipsa oxigenului nu se produc mișcări excitative, că la Mimosa mișcarea se datorește unui antagonism între partea de sus și de jos a pulvinului, că mișcarea volubilă se explică prin crestarea inegală a celor 2 laturi ale organului care se răsucește etc., etc.

August Pyrame De Candolle (1778-1841), în cercetările sale și în manualul său de fiziologie (Physiologie végétale, 1832) reprezintă o concepție mult mai realistă și mai largă decît *Treviranus* și *Meyen.*

Cu atît mai de subliniat sînt experiențele lui *Jean Baptiste Dieudonné Boussingault* (1802-1887), chimist și agronom, care introduce metoda culturilor experimentale în cercetarea nutriției vegetale, începînd cu anul 1837. Studiile sale insistente dovedesc din nou că planta ia din sol numai substanțe minerale, nu și organice, iar din atmosferă carbonul. În special

Fig. 5. *J. B. D. Boussingault* (1802—1887).

combate teoria humusului, calcinînd solul și cultivînd în el plante. Dar combate și opinia lui Liebig despre nutriția cu azot, dovedind importanța salpetrului și a îngrășămîntului făcut cu el, pentru vegetația plantelor superioare. Numeroase din importantele lui cercetări au fost executate însă după 1860.

În țările germanice revenirea din domeniul steril al speculațiilor la realitatea biologică, s-a făcut mai ales după lansarea și fundamentarea teoriei celulare de către zoologul *Theodor Schwann* (1810-1882) și botanistul *Mathias Jakob Schleiden* (1804-1881) în anii 1838-1842. Prin fondul ei de constatări și prin scopul său, teoria celulară readuce cu vigoare metoda inductivă și cauzală în cercetarea naturii. Principiul ei de

bază este *organizarea, planul arhitectonic*, care se constată la ființe. În ultima esență deci un principiu morfologic. Într-adevăr ea îndrumează tematicele de lucru în special ale naturaliștilor germani spre organizarea celulară și mai ales spre celula însăși. Citologia care se înfiripa de fapt din aceste cercetări, ca și istologia renăscută, deși erau discipline statice, formale, au dat totuși mereu ocazii pentru considerații și studii fiziologice. Amintim în această ordine de idei studiile succesive ale lui *Schleiden* însuși despre părțile celulei vegetale și despre originea lor sau despre curenții protoplasmatici; cercetările lui *Hugo von Mohl* (1805-1872), care definește la 1846 noțiunea de protoplasmă, îi caracterizează starea fizică și îi stabilește natura proteică. *Mohl* scrie unul din primele tratate de citologie vegetală, în 1851. În această perioadă își începe activitatea citologică și citofiziologică *Karl Wilhelm Nägeli* (1817-1891) și *Wilhelm Hofmeister* (1824-1877), apoi histologul și histofiziologul *Johannes von Hanstein* (1822-1880) etc. În această perioadă se descoperă sexualitatea la Criptogame și se studiază gameții și copulația la Alge, la Mușchi și la Ferigi. A început studiul fiziologic al microorganismelor, chiar al bacteriilor și al ciupercilor inferioare; *Louis Pasteur* (1822-1895) pune temelia științifică a biofermentațiilor.

Tematica fiziologică s-a îmbogățit deci cu încă prea tinerele discipline ale Citofiziologiei și Microbiologiei, iar temele vechi au cîștigat mult în amploare și precizie spre sfîrșitul acestei epoci.

Dar viguroasa schimbare de atitudini, care s-a produs prin abandonarea biologiei vitaliste și prin reabilitarea categorică a metodei experimentale, nu a dus totuși la o concepție științifică sănătoasă în biologie și mai ales în fiziologie. Reacția față de vitalism a evoluat în mecanicism, care s-a afirmat drept materialist în sensul, că nu recunoaște realitatea vreunei forțe imateriale în mecanismul vieții. Este totuși metafizic prin faptul că nu recunoaște materiei vii alte manifestări decît cele mecanice, care caracterizează materia brută. Din această cauză s-a ajuns la ideea identității organismului viu, cu o mașină în funcțiune. Pe de altă parte, captivați de rezultatele analizei citologice și chimice din ce în ce mai profunde, mecaniciștii au pierdut din vedere atît de mult interdependența dintre părțile unui organism, încît le-au atribuit acestora, în mod greșit, o autonomie morfologică și fiziologică în cadrul organismului. Așa s-a ajuns la noțiunea „organismului elementar", cum a fost taxată celula de către *Ernst Wilhelm Brücke* (1819-1892), la ideea *„statului celular"*, în care prin simpla coexistență însumată a componenților *„egal îndreptățiți, dar nu egal dotați"*, lipsiți de un *„spiritus rector"*, ca niște *„cetățeni liberi într-o republică burgheză"*, alcătuiesc organismul superior, cum se exprima *Rudolph Virchow* (1821-1902).

Asemenea erori de perspectivă ale mecanismului s-au infiltrat adînc și persistent în sistemul de interpretare fiziologică. Victorioasă față de vitalism, cu admirabile trofee experimentale, dar cu grave defecte de concepții, se pregătea biologia de acum un veac să primească teoria fecundă și răscolitoare a evoluției organice.

Scanned with OKEN Scanner

Epoca IV (de la 1860 pînă azi)

Cartea lui *Charles Darwin* (1809-1882), „Originea speciilor", apărută în 1859 cu noutatea ei copleşitoare, fondată convingător pe o documentare indistructibilă, a avut un efect reformator, rapid şi profund, nu numai asupra ştiinţelor biologice, ci şi asupra celor umanistice. Ea însemnează fără îndoială, o piatră de hotar în istoria cercetării şi a gîndirii. În orice caz ea a deschis drumul biologiei moderne şi a fost în acelaşi timp decisivă pentru cursul fiziologiei plantelor din ultima sută de ani.

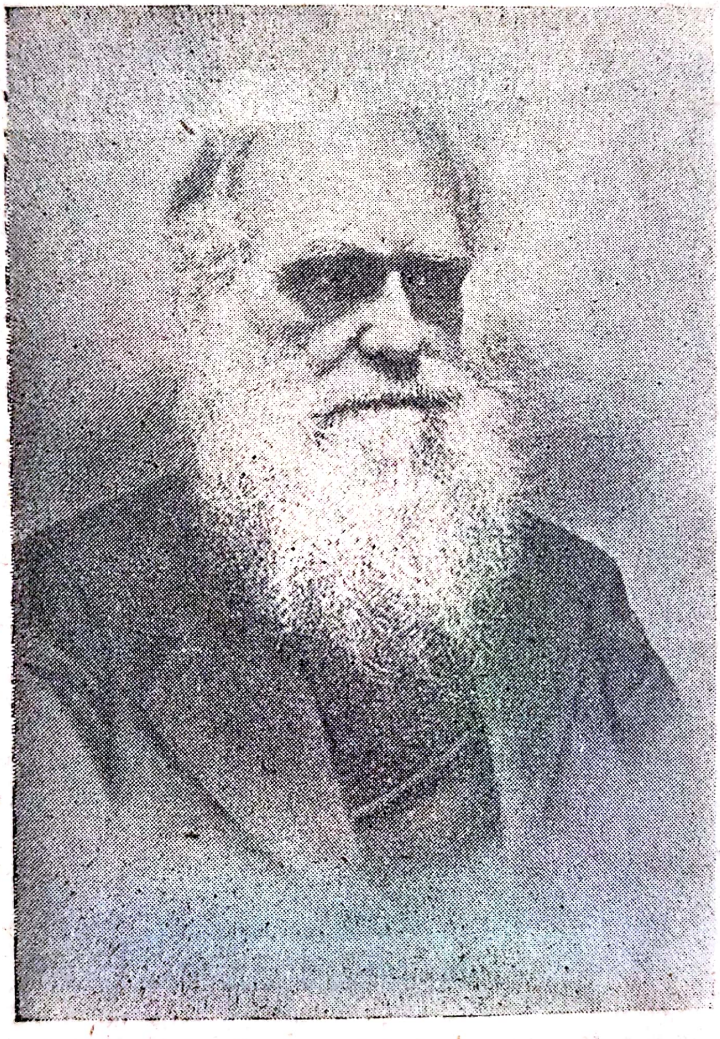


Fig. 6. *Charles Darwin* (1809—1882).

Teoria transformismului, mai bine zis a darvinismului, în versiunea căreia şi-a îndeplinit rolul ei istoric, şi-a afirmat efectul asupra fiziologiei, întîi *prin accentuarea metodei experimentale ortodoxe*. Ea a hotărît convingerea legăturilor materiale inexorabile de *cauză* şi *efect*, în înlănţuirea fenomenelor vieţii, chiar pe planul vast al trecutului geologic. Această convingere a temperat speculaţiile şi a orientat pe fiziologi spre cercetarea pas de pas a lanţului de cauze şi efecte, din care se integrează

procesele fiziologice. Experimentarea a luat dintr-odată un avînt neobișnuit mai înainte.

Mai mult, transformismul a inoculat în fiziologie ideea că funcțiunile fiziologice, așa cum le constatăm azi la organisme, reprezintă stadii de evoluție dintr-o lungă serie de funcțiuni care s-au succedat în cursul timpului geologic sub puterea modificatoare a condițiilor mediului și în conformitate cu organizația, mereu alta, a ființelor. În felul acesta metoda cauzală și-a proiectat și pe trecut explorarea „paleoetiologică"*. Un reprezentant autorizat al acestei concepții a fost, după cum știm, fitofiziologul rus, *Kliment Arkadievici Timiriazev* (1843-1920).

Fig. 7. *Kliment Arkadievici Timiriazev* (1843—1920).

Transformismul a deșteptat un pasionat interes pentru microorganisme și în special pentru celulă, care reprezintă astăzi tipul primitiv de realizare armonioasă a vieții. De astă dată însă cercetarea nu s-a oprit la diversitatea morfologică a celulelor, ci ea a trecut din ce în ce mai atentă la studiul protoplasmei, ca substrat material al vieții, rezultat prin îndelungată evoluție din materia brută. Din teoria celulară rigidă, morfologică,

*) Palaios = vechiu; aitia = cauză. Paleoetiologie = știința cauzelor trecute

Scanned with OKEN Scanner

M. C. fața

s-a desprins astfel *teoria protoplasmatică*, de astă dată cu tematică fiziologică. Este semnificativ că semnalul acestor noi directive, care a așezat în cele din urmă citofiziologia în centrul preocupărilor biologiei, a fost dat cu 2 ani după apariția cărții lui Darwin, în 1861, de către anatomistul și istologul *Max Schultze* (1825-1875).

Trasformismul a dat un avînt neobișnuit și cercetărilor morfologice, anatomiei comparate, organografiei, discipline principale de consultare în reconstituirile filogenetice.

De astă dată însă ideea organizației implica mereu și ideea corelativă a adaptării, dar mai ales a raportului dintre organizație și funcțiune, dintre organ și rolul său fiziologic. Această nouă orientare determinată de transformism, asemenea a fost rodnică pentru fiziologie. Ea a intensificat studiul factorilor mediului în efectul pe care-l au asupra proceselor fiziologice. Ea a dus însă și la o atitudine de sinteză în anatomia vegetală, care pînă în ultimul sfert al veacului trecut persista în factura ei formală, statică. Ideea corelației dintre structură și funcțiune, a dat naștere *anatomiei fiziologice* care studiază amănuntul anatomic nedespărțit de prestația fiziologică, de care este capabil în baza organizației sale. Protagoniștii noii orientări au fost botaniștii *Simon Schwendener* (1829-1919), dar mai ales *Gottlieb Haberlandt* (1854-1945), în deceniul 1874-1884.

Adăugăm că fitofiziologia a profitat atît de mult nu numai pe plan de doctrină de la darvinism, ci chiar în concret de la părintele lui. *Darwin* însuși a fost un experimentator genial și meticulos în același timp în domeniul fiziologiei vegetale, începînd cu anul 1862 și pînă la moartea sa. Problemele principale în care a adus contribuții fundamentale sînt următoarele: Procesele de polenizare, de hibridizare, hibrizii vegetativi, corelația dintre flori și insecte; mișcările vegetale, în special tropismele, nastiile și mișcările vîrfului tulpinii în creștere, pentru cercetarea cărora a aplicat metode cu totul noi. Experiențele lui simple, prin care dovedește rolul vîrfului vegetativ radicular în perceperea excitației geotropice și hidrotropice, ca și al celui caulinar în percepția fototropică, au fost mereu reluate de atunci încoace pe măsură ce se iveau alte aspecte ale problemelor. Zelul lui de documentare, felul de a pune problema și de a organiza experiența adecvată în funcțiunea plantelor insectivore, au rămas pînă azi neîntrecute. Toate aceste experiențe și rezultate ale lui Darwin din domeniul fiziologiei vegetale sînt cuprinse în tratate voluminoase, magistrale*.

Doctrina evoluției a dat, după cum am văzut, un impuls epocal cercetării experimentale în fiziologie, citofiziologiei, explorării cauzale a factorilor mediului în influența lor asupra funcțiunilor plantei. Doctrina fiziologică s-a imbibat de concepția evoluției, a neîncetatelor transformări. Dar puterea doctrinei mecaniciste, temperată ce-i drept de transfor-

---

*) 1. On the various contrivances by which Orchids are fertilised by Insects. London 1862.
2. The movement and habits of Climbing plants. London 1875.
3. Insectivoro s Plants. London, 1875.
4. The Effects of Cross and Self Fertilisation in the vegetable Kingdom. London, 1876.
5. The Power of Movement in Plants. London, 1880.
6. The Formation of Vegetable Mould through the Action of Worms with Observations on their Habits. London, 1881.

mism, s-a resimțit în alte aspecte ale fiziologiei încă în tot cursul veacului al 19-lea și la începutul veacului nostru. Timbrul mecanicist a persistat mai ales sub forma analitismului excesiv și a credinței în valabilitatea exclusivă a legilor și analogiilor mecanice în procesele vieții. Fiziologia analitică a progresat în acest climat enorm în conținut, dar s-a încărcat și cu numeroase aberații atît în concluziile analitice cît și mai ales în punerea problemei și în interpretare. În special s-a exagerat în experimentarea preferentă in vitro cu iluzia că se surprind procese exact la fel în organismul viu; s-au tras concluzii excesive din analiza cenușei vegetale; s-au izolat cu totul factorii mediului sau funcțiunea urmărită, exprimîndu-se relația dintre ele în „puncte cardinale" și „curbe optimale", cu pretenția de a fi exprimat relații fiziologice absolute; s-a continuat cu neglijarea interdependențelor organice-fiziologice. Aceste erori de perspectivă cu vaste proporții au fost corectate treptat sau revoluționar de *concepția materialist-dialectică.* În sensul acesteia materia vie reprezintă un salt calitativ față de materia brută și este deci capabilă de manifestări particulare; între structură și posibilitățile ei de prestație fiziologică este o legătură fermă; organismul reprezintă un întreg, în cadrul căruia diferitele părți și diferitele funcțiuni sînt strict interdependente.

Prin această perspectivă de ansamblu, a luat ființă și avînt fiziologia sintetică. De la reprezentările abstracte mecaniciste s-a trecut deci la altele conforme cu realitatea fiziologică obiectivă.

* * *

Tematica fiziologică din ultima sută de ani se caracterizează printr-o *diferențiere* și *îmbogățire necunoscută pînă atunci.*

Nu ne este posibil deci să urmărim progresul problemelor fitofiziologice din această epocă ultimă cu aceeași măsură, cu care le-am urmărit pînă acum, cu atît mai mult cu cît multe din datele istorice noi vor fi subliniate în corpul manualului capitol de capitol, ca realizări fundamentale. Vom încerca totuși o privire de ansamblu care să ne arate doar *direcțiile principale de dezvoltare ale disciplinei noastre.*

Am văzut mai înainte rolul determinant al marilor doctrine științifice-filozofice în progresul fiziologiei vegetale. Dar mersul ei înainte a depins și de *evoluția mijloacelor de cercetare* și *a științelor auxiliare,* care au cîmpuri de probleme limitrofe sau care se ocupă de structura și legile de manifestare ale materiei.

Nu putem accentua de ex. îndeajuns cît de imperativă a fost dependența dintre progresul fiziologiei celulare și al *microscopului.* Invenția lentilelor apocromate (1899), a ultramicroscopului (*H. Siedentopf* și *R. Zsigmondy,* 1908), a microscopului luminescent (*Ph. Ellinger* și *A. Hirts,* 1929), a microscopului electronic (*E. Ruska,* 1934), a microscopului cu contrast de fază (*F. Zernike,* 1934), a micromanipulatorului (după *S. L. Schouten,* în 1928), care permite experiențe microchirurgicale — sînt toate evenimente, care au deschis fiziologiei celulare noi porți de intrare în domeniul încă necunoscut al materiei vii. Perfecționarea microscopului însoțită de marea dezvoltare a chimiei, au determinat spre folosul fiziologiei celulare, progresul necontenit al *microchimiei.*

În ultimă instanță tot descoperirea microscopului și a tehnicei microscopice stă la baza *microbiologiei* care și-a început perioada sa de glorie

tocmai la începutul epocii de care ne ocupăm prin cercetările și descoperirile epocale ale lui Pasteur. Microbiologia la rîndu-i își întemeiază concluziile înainte de toate pe studiul fenomenelor vitale ale microbilor. Ea a progresat deci mînă în mînă cu fiziologia vegetală. Pasteur însuși a pus temeiurile științifice ale fermentației, ale vieții aerobe și anaerobe, ale rezistenței și virulenței microbilor, ale problemei imunității. O altă ramură, microbiologia solului, a luat ființă prin descoperirile geniale ale lui *Serghei Vinogradski* (1856—1953), care la 1888 descoperă ferobacteriile, apoi sulfobacteriile, iar în 1890 izolează și cultivă în soluții complet lipsite de alimente organice bacteriile nitrificante, introducînd în știință noțiunea revoluționară a *bacteriilor autotrofe* și a *chimiosintezei*. Tot el descoperă prima bacterie liberă asimilatoare de azot elementar (*Clostridium*, în 1895). Între timp a fost din ce în ce mai clarificat giganticul proces al putrezirii și al mineralizării substanțelor organice din sol și din ape, datorită activității fiziologice multiple și neașteptat de diferențiate a micro-organismelor vegetale.

Marea dezvoltare în sens aplicat a microbiologiei medicale, pedologice și industriale a dus la desprinderea acestora sub formă de discipline independente, dar materialul lor de bază, care alcătuiește conținutul așa zisei microbiologii generale, reprezintă înainte de toate un complex de probleme fitofiziologice.

Descoperirea viețuitoarelor inframicrobiologice și în special a virusurilor, din care primul a fost izolat în 1953 de *W. M. Stanley*, a deșteptat speranța fitofiziologiei de a-și putea împinge limitele actuale ale tematicei sale dincolo de celula constituită și înzestrată cu un metabolism armonic.

La fel cu microbiologia, s-au desprins din cîmpul clasic al fitofiziologiei, prin continuă dezvoltare într-un sens particular: problemele sexualității, ale hibridizării, ale eredității, constituind discipline noi ca embriologia vegetală, ecologia floral și mai ales genetica, al cărei contur s-a cristalizat la începutul veacului nostru, dar care a luat apoi un avînt neobișnuit și o funcție socială fundamentală prin biologia miciurinistă.

*

* *

Din descoperirile fizico-chimice mai importante, care au stimulat sau orientat explorarea fitofiziologică spre noi domenii sau concepții, sînt în special de subliniat următoarele:

Descoperirile lui *Robert Wilhelm Bunsen* (1811—1899) cu privire la analiza gazelor (1857) și cele cu privire la analiza spectrală publicate în 1859 în colaborare cu *Gustav Robert Kirchhoff* au avut un rol decisiv în orientarea pe căi precise a studiului fotosintezei și clorofilei.

Cercetările lui *Thomas Graham* (1805—1869), asupra *diosmosei* (1862), au constituit temelia coloidologiei moderne, a teoriei coloidale a materiei vii.

Extinderea legii gazelor asupra soluțiilor de către *I. H. van t'Hoff* (1852—1911), la 1885, au oferit o fundamentare precisă pentru cercetările osmotice.

Razele Roentgen, descoperite la 1895 de *Wilhelm C. Roentgen* (1845—1923) au fost cu succes utilizate în clarificarea structurilor celulare, în special membranice, precum și în influențarea unor procese fiziologice.

Scanned with OKEN Scanner

Una din cele mai grandioase perspective s-au deschis fiziologiei prin impresionanta evoluție a cunoștințelor asupra *radioactivității*. După descoperirea radioactivității naturale la 1896 de *Henri Becquerel* (1852—1908) s-a studiat în fiziologia plantelor efectul stimulator sau inhibant al emanațiunilor radioactive asupra unor procese fiziologice, cum ar fi germinația semințelor. Dar o etapă nouă de aplicare a radioactivității în fiziologie s-a ivit după explorarea isotopilor radioactivi naturali și artificiali care pot fi detectați, de ex. prin contorul Geiger-Műller sau prin radiografie, în orice combinație chimică nouă ar intra și în orice regiune a unui organism s-ar găsi. Lăsînd astfel să pătrundă în organismul viu substanțe simple, în care unul din elemente este reprezentat prin isotopul său radioactiv, acesta poate fi urmărit ca o piesă etichetată pe tot parcursul său și în toate reacțiunile sale din interiorul organismului. Această metodă a „elementelor trasoare" sau a „atomilor marcați" introdusă în biologie de *O. Chievitz* și *G. Hevesy* în 1937, are azi o largă utilizare în fiziologia vegetală, cu rezultate de mare precizie, care au revoluționat multe concepții vechi despre metabolismul fosforului, al azotului, despre mecanismul fotosintezei, despre fermentații, nutriția heterotrofă etc. etc.

In ultima sută de ani, de care ne ocupăm, a luat o dezvoltare prodigioasă *chimia* cu diferitele ei ramuri. Fiziologia plantelor a profitat în special de ascensiunea continuă a chimiei organice, a chimiei fizicale, dar mai ales a *biochimiei,* care s-a individualizat abia în primele decenii ale veacului nostru ca știință independentă, axată tocmai pe fiziologicul organismelor. Toate au oferit necontenit noi informații și metode pentru a reconsidera, din ce în ce mai realist, procesele de absorbție, de permeabilitate, de metabolism, de respirație, de secreție, etc. etc. In special mecanismul chimic intim al funcțiunilor vegetale fundamentale, cum este sinteza glucidelor, lipidelor și protidelor, respirația, fermentația, a trecut prin reprezentări din ce în ce mai verosimile sau chiar definitive, esențial deosebite de ecuațiile clasice, simpliste, care figurau în tratatele și contribuțiile științifice de la începutul sau chiar de la jumătatea epocei moderne.

Trebuie să relevăm în mod cu totul deosebit importanța pentru fiziologia plantelor a descoperirilor biochimice și fiziologice în legătură cu *substanțele active (ergone)* din plante.

Se știe că anumite enzime au fost izolate încă în epoca precedentă de *Wöhler, Liebig, Robiquet,* etc. La începutul epocei noi *Pasteur* și *Liebig* au adus contribuții importante, dar abia mai tîrziu s-a dezvoltat în toată bogăția ei explorarea și fundamentarea teoretică a acestor biocatalizatori, reușindu-se să se arate că „fermenții" organizați acționează în mod catalitic din cauza unei anumite substanțe chimice — enzimă — pe care o conțin *(Eduard Büchner,* 1897), că ele au acțiuni specifice *(Emil Fischer,* 1894), că ele lucrează într-un anumit PH *(S. P. L. Sörensen,* 1909), că ele sînt foarte numeroase și domină într-o largă diferențiere

de travaliu toate procesele metabolismului, fără a se consuma în cursul reacțiunilor pe care le catalizează.

Deși în parte au fost izolate, structura lor chimică precisă încă nu e cunoscută. In schimb activitatea lor a putut fi studiată cu mare exactitate și in vitro, pe substanțe chimic pure.

Hormonii vegetali pînă acum descoperiți sînt puțini la număr, iar producția lor nu este legată de anumite glande cu organizație particulară și nici rolul lor de regularea corelațiilor morfologice-fiziologice nu se

Fig. 8. *Louis Pasteur* (1822—1895).

manifestă atît de complicat și de diferențiat ca la animalele superioare și la om. Așa se explică de ce capitolul despre hormonii vegetali este incomparabil mai sărac, decît acela al hormonilor umani și animali.

Dar descoperirea și studiul fizologic și chimic al hormonilor vegetali de creștere au deschis drumul unei ramuri noi bogate și înfloritoare: *fiziologia stimulatorilor*. Puse fiziologic în evidență de *Peter Boysen-Jensen* (1910), de *Arpad Paàl* (1914), de *Hans Söding* (1923—1925), dar mai ales de *F. A. F. C. Went*, *F. W. Went* și *Nicolae Holodnîi* (1928—1929), au fost izolate și numite *auxine* de chimistul *F. Kögl* (1933).

Tot *Kögl* descoperă hormonul de creștere al ciupercilor: acidul beta-indolilacetic, diferit chimicește de auxine, dar analog acestora în acțiunea fiziologică. El a fost numit heteroauxină și preparat apoi industrial, împreună cu alte cîteva sute de substanțe fiziologic asemănătoare. In ultimele 2 decenii o bună parte din experiențele de laborator, de seră și chiar de cîmp din toate continentele s-au ocupat cu efectul acestor substanțe asupra mecanismului creșterii, asupra celor mai diverse alte procese fiziologice și chiar ca herbicide.

Fig. 9. *F. A. F. C. Went* (1863—1935).

După nenumărate tatonări și experimentări clinice și fiziologice asupra așa-ziselor „boli de carență" s-a izolat la 1911 de către *Cazimir Funk* substanța, care în cantități minimale vindecă boala beri-beri. *Funk* a numit asemenea substanțe *vitamine*, iar bolile care apar în lipsa lor, *avitaminoze*. Descoperirea a deschis o nouă epocă în terapeutica și fiziologia animală și umană, dînd naștere unei eroice perioade de explorare chimică a vitaminelor. Deși produse în general de plante, problema fitofiziologică a vitaminelor s-a putut pune cu întîrziere și cu mult scăzută

amploare față de importanța lor în fiziopatologia animală și umană. Abia în ultimele 2 decenii s-a recunoscut pas de pas însemnătatea unor vitamine în procesele de creștere și de oxido-reducțiuni din corpul plantelor.

Accentuăm cu acest prilej, că problema ergonelor (enzime, vitamine, hormoni), dar și alte probleme, ca aceea a sensibilității, a producerii de energie etc. au fost foarte adesea abordate în epoca modernă prin analogie cu aceleași funcțiuni și probleme din fiziologia umană și animală. Rezultatele au fost în general categoric superioare, căci s-a plecat de la ipoteze de lucru, care au fost mereu verificate experimental. Metoda inductivă cauzală a împiedecat de astă dată abuzul de afirmații pur deductive, care au împestrițat știința despre viață în prima ei epocă, în urma speculațiilor sugerate de analogia dintre plante și animale.

*
* *

O disciplină de aproape înrudită, al cărei progres s-a repercutat deosebit de fecund asupra fiziologiei vegetale este *morfologia vegetală* în sensul larg al termenului. Organografia și histologia dar mai ales citologia veacului nostru au nu numai un foarte bogat conținut, ci și o orientare generală favorabilă fiziologiei. Prin întemeierea încă de prin 1874—1884 a anatomiei fiziologice, iar mai nou a celei protoplasmatice (*Friedl Weber*, 1929), prin dezvoltarea anatomiei experimentale (mai ales *Gaston Bonnier*, din 1895), a citologiei experimentale (mai ales *Ernst Küster*, din 1908 și *Hans Pfeiffer*, din 1925) și chiar a organografiei experimentale (mai ales *Georg Albrecht Klebs*, prin 1903—1916 și *Karl Eberhard Goebel* începînd cu anul 1908), morfologia modernă consideră organizația nu atît ca o particularitate formală, cît ca un rezultat al acțiunii modelatoare a factorilor externi asupra complexului ereditar pe de o parte și ca un substrat organizatoric adecvat pentru anumite prestații fiziologice pe de altă parte.

Una din inițiativele cele mai noi și mai îndrăznețe ale anatomiei experimentale, *cultura de celule și țesuturi vegetale* in vitro a fost încercată întîi cu rezultate nesatisfăcătoare de *G. Haberlandt* (1902), dar a fost rezolvată apoi din punct de vedere tehnic și pe larg experimentată de *R. I. Gautheret* (din 1935), *P. Nobécourt* (din 1937), dar mai ales de *P. R. White* (din 1931).

Aceste progrese necontenite ale morfologiei vegetale în general au contribuit la lămurirea multor probleme de diviziune celulară, de embriologie, de fecundare și fructificare, de mișcări tactice, tropice și nastice, de creștere, de fiziologia fixării, a absorbției, a transportului de substanțe, a permeabilității, a susținerii, a transpirației, a gutațiunii, a secreției, a fiziologiei plantelor carnivore și a celor parazite, a fenomenelor de excitabilitate, de diferențiere și dediferențiere morfologică-fiziologică.

* * *

Chiar această apreciere a inițiativelor și progreselor stimulate de evoluția continuă a curentelor ideologice, a mijloacelor de cercetare și a disciplinei înrudite, ne poate convinge de bogăția problemelor noi, care au

răsărit și au fructificat în disciplina noastră, în cursul ultimei epoci care durează de aproape un veac. S-a lărgit în proporții vaste mai ales *problematica teoretică a fitofiziologiei,* realizîndu-se prin aceasta un nepreţuit tezaur de adevăruri obiective, generatoare fără încetare de noi ipoteze de lucru, de noi inițiative experimentale, de noi interpretări ale realității fiziologice. Ele au slujit și slujesc la rîndul lor drept permanente stimule pentru chimia organică și biochimie (în special: ergonele, substanțele toxice, uleiuri eterice, proteine etc.), pentru fizică (osmoză, permeabilitate), pentru fiziologia umană și animală (experiențe de plasmoliză, permeabilitate, procese de excitabilitate, vitamine etc.), pentru biologia generală (funcțiuni fundamentale, influența mediului, adaptări, ereditate, fiziologia dezvoltării etc.). Subliniem dintre marile probleme mai mult teoretice, foarte aprofundate și diversificate în ultima epocă, aceea a *creșterii embrionale și prin întindere,* precum și aceea a *mișcărilor vegetale de toate categoriile,* care a implicat și explorarea *sensibilității vegetale.*

ACCENTUAREA FIZIOLOGIEI APLICATE

Dar istoricul de față ar fi incomplet dacă n-am releva *sensul practic,* adoptat din ce în ce mai hotărît de fitofiziologia ultimului veac.

Încă cercetările lui *Boussingault* și *Liebig* de la sfîrșitul epocei trecute au atras atenția asupra importanței fiziologiei plantelor pentru agricultură, pentru mărirea și ameliorarea producției plantelor cultivate. Această idee s-a transformat însă într-o doctrină conturată în special prin lecțiile lui *Timiriazev* de la „Academia Petrovskaia" (actualul Institut Timiariazev de Agricultură), apoi de la Universitatea din Moscova, precum și prin numeroasele sale conferințe și publicații. Efectul acțiunii lui a fost atît de puternic încît astăzi agrobiologia sovietică se consideră, de acord cu principiul lui Timiriazev, drept un complex de aplicații practice ale constatărilor și metodelor fiziologiei plantelor.

Pentru a ne da seama de măsura orientării practice a experiențelor și concluziilor fitofiziologice de azi, vom schița evoluția cîtorva probleme reprezentative sub acest raport din epoca modernă.

Problema nutriției minerale, a intrat, chiar din primii ani ai epocei pe un nou făgaș, autentic experimental, nebănuit de fecund. Aproximativ deodată, în anul 1860, au început *Julius Sachs* (1832-1897) și *F. A. L. W. Knop* (1817-1901) să cultive plante verzi superioare în soluții de diverse săruri minerale, stabilind progresiv necesitățile plantelor în asemenea săruri, necesități verificate fiziologic după efectul pe care proporția sau lipsa sărurilor îl are asupra vitalității și producției totale a testelor de experiențe. Ei au publicat apoi cunoscutele lor rețete de soluții nutritive complete și echilibrate (*Knop* în 1866, *Sachs* în 1882). Acestea au fost mereu ameliorate, între alții, de *V. D. Crone* (1902), *W. E. Tottingham* (1914), *Hansteen-Cranner* (1922) etc.

Prin asemenea experiențe care au durat aproape un veac, s-au stabilit elementele indispensabile vieții vegetale și simptomele de carență produse prin lipsa sau insuficiența lor. Culturile în soluții nutritive au pus în evidență antagonismul ionilor, nevoia alimentării prin soluții echilibrate, necesitatea și registrul de toleranță ale diverselor specii de plante pentru

pH-ul mediului, reactivitatea plantelor față de concentrația mediului, legea minimului, iar mai nou importanța decisivă a așa ziselor microelemente, a stimulatorilor etc. Înarmat cu constatările făcute în vasele de cultură, cercetătorul a trecut în cîmpul de experiențe pentru a-și da seama de cea mai rentabilă aplicare a lor în marea producție. Cultura plantelor, în special administrarea îngrășămintelor și amendamentelor în

Fig. 10. *Julius Sachs* (1832—1897).

vederea unei cît mai ridicate producții, au fost puse astfel pe temeiuri științifice solide. Accentuăm însă că rezultatele teoretice ale acestor experiențe sînt și ele la nivelul celor practice.

În ce privește *microorganismele verzi*, încă *Andrei Serghievici Faminţin* (1835-1918) din Petersburg a înfățișat la 1871 importanța sărurilor minerale pentru cultura algelor. Metoda a fost însă precizată și mereu ameliorată prin experiențele lui *Hans Molisch* (1856-1937), în 1895 și 1896, apoi de *Wilhelm Benecke* în 1898 și de *Robert Chodat* (1865-1934) în colaborare cu compatriotul nostru *Ion Grințescu* în 1900.

Metoda culturilor de alge a înlesnit descoperirea aproape a tuturor cunoștințelor noastre actuale cu privire la fiziologia, dar și cu privire la biologia și ecologia acestor microorganisme. Ea a făcut însă posibilă, în zilele noastre, cultura pe scară industrială a algei unicelulare dulcicole *Chlorella*, care s-a dovedit a fi, deocamdată pentru animalele de experiență, un furaj din cele mai bogate în substanțe hrănitoare, în special proteice. Firește că în afara sărurilor minerale, culturile industriale de alge unicelulare (și *Scenedesmus!*), necesită multă lumină și un aport artificial sporit, de CO_2.

Cunoștințele teoretice despre nutriția algelor își mai găsesc un vast teren de aplicație în *limnologie*. Cunoscînd chimismul apelor dulci și modul de nutriție al florelor algologice potrivite pentru o cît mai mare producție de pește, lacurile se pot „îngrășa" artificial, ca și solurile.

Cultura bacteriilor și a *ciupercilor inferioare* este de mult cunoscută. Din vremuri îndepărtate înfloreau industrii populare, mai tîrziu și industrii mari, de fermentație alcoolică, lactică, butirică, acetică, izolate și combinate, care implicau culturi empirice de bacterii sau ciuperci inferioare. Dar o mare industrie de produse pure sau calitativ superioare, cu o profundă și planificată specializare, nu a putut lua naștere decît după fundamentarea științifică a metodelor de culturi microbiene de către *Pasteur* la începutul epocii de care ne ocupăm.

Lăsăm de o parte în acest loc bacteriile patogene, al căror studiu fiziologic formează temelia igienei și a medicinei curative moderne. Culturile fermenților și studiul chimic al proceselor fermentative, executate de *Pasteur* între 1857-1868 au revoluționat industria, în special cea alcoolică. Elevul lui *Pasteur, I. Raulin* a dat rețete de soluții nutritive pentru mucegaiuri, în 1869. Pe urma lor numeroși alți cercetători, ca *Vinogradski, Beijerinck,* etc., etc., s-au ocupat de această problemă, făcînd posibile studii teoretice de fundamentală importanță privind nutriția atît de variată, producerea de energie, chimiosinteza, creșterea embrională (substanțe bios!) etc. ale microbilor. Dar știm că pe urma acestor studii au putut realiza progrese atît de importante discipline aplicate ca *pedologia, fitopatologia, microbiologia tehnică* etc. Marea industrie a alcoolului etilic, a acidului lactic, a butandiolului, a butanol-acetonei, a acidului acetic, gluconic, citric, se bazează pe culturi masive și metodice microbiene. Tot industrial, se prepară proteina microbiană din *Torula utilis, Mycotorula japonica, Oidium lactis*; polizaharide microbiene din *Leuconostoc mesenteroides* și *dextranum*; vitamina B_1 din *Endomyces vernalis*; riboflavina din specii de *Ashbya, Eremothecium* și *Candida*, vitamina B_{12} din diferite specii de ciuperci și bacterii. Culturile industriale de bacterii azotofixatoare (azogen, azotobacterin, nitragin) sînt utilizate pentru o mai rapidă îmbogățire a solului în azot de origine atmosferică.

Un loc cu totul special îl ocupă *industria antibioticelor* atît de prețioase și atît de generalizate în terapeutica modernă, cum sînt penicilina, cloromicetina, streptomicina, aureomicina, teramicina, bacitracina, xantocilina, obținute în cantități din ce în ce mai impresionante, înainte de

toate din specii de *Penicillium* și *Streptomyces*. Posibilitățile de aplicație ale culturilor microbiene fiziologic fundamentate, au atins astfel o proporție și o însemnătate pentru viața umană cu totul neașteptate.

* * *

Fiziologia dezvoltării plantelor este una din cele mai actuale probleme a cărei importanță teoretică și practică iese din comun.

Se cunoștea de mult ritmicitatea în ciclul evolutiv al plantelor, în special al celor superioare și s-a căutat explicația ei fiziologică. După una din păreri reprezentată în special de *Hermann Vöchting* (1847-1918) această ritmicitate depinde în mod decisiv de factori interni. Alții dimpotrivă, atribuiau fenomenul condițiilor externe, cum a fost de ex. *Klebs* (1912) care în urma interesantelor sale experiențe ajunsese la concluzia, că factorii externi produc în organismul vegetal modificări profunde, care la rîndul lor determină fazele ciclului evolutiv inclusiv înflorirea și fructificarea. Începînd cu anul 1907 *Gustav Gassner* arată că înspicarea secării poate fi mult grăbită dacă îi supunem sămînța germinată unei temperaturi de 1-2^0 timp de cîteva săptămîni. Pe de altă parte *W. W. Garner* și *H. A. Allard* găsesc că procesul de înflorire și fructificare depinde la majoritatea plantelor, de lungimea diferită a perioadelor diurne de lumină și de întunerec, care alternează în jurul plantelor. Ei au numit acest fenomen fotoperiodism. Toate aceste experiențe au fost reluate atît în documentare cît și în interpretare de *Trofim Denisovici Lîsenko* care începînd cu anul 1929 a înglobat aceste probleme într-un vast, dar sistematic plan experimental, care a cuprins în foarte scurt timp întreaga regiune agricolă a Uniunii Sovietice și le-a axat într-o nouă concepție a *„dezvoltării în stadii"*. În sensul acesteia prin dezvoltare se înțelege o succesiune de modificări calitative interne, care se desfășoară într-o ordine ireversibilă de stadii — și sînt declanșate de cîte un complex specific de factori externi, cum este mai ales temperatura în cazul stadiului de iarovizare și lumina sau întunericul în cazul stadiului de lumină. Această concepție a fost anticipată, fără să fie formulată, de experiențele lui *Ivan Vladimirovici Miciurin* (1855-1935), care au dovedit importanța decisivă a factorilor mediului asupra caracterelor, chiar ereditare, ale plantelor și care a arătat în special, că pomii fructiferi se comportă diferit față de factorii externi după cum se găsesc în faza de tinerețe sau în cea de adult.

Nu este nevoie să subliniem importanța teoretică a rezultatelor acestor experiențe și a concepției despre dezvoltarea în stadii.

Este cazul să subliniem însă imensa lor însemnătate practică pentru agricultura întregii lumi, dar mai ales a Uniunii Sovietice. Grație lor cele mai multe plante de cultură au putut fi cultivate la latitudini pînă nu de mult improprii, producția lor a fost sporită și mai ales în cazul cerealelor de toamnă s-au putut tempera sau chiar evita dezastrele produse de gerurile iernilor grele.

* * *

Încheiem capitolul de față interpretînd din punct de vedere istoric problema *rezistenței plantelor la ger și la secetă*, problemă care a pătruns în incinta fiziologiei abia în ultima epocă și s-a ridicat abia în ultimele

decenii printre acele subiecte teoretice din aplicarea cărora omenirea poate spera o hotărîtă ameliorare a condițiilor sale de trai.

Înghețarea plantelor sau suferința lor în general din cauza temperaturilor coborîte a preocupat pe fiziologi dintr-un punct de vedere mai mult teoretic încă de pe la începutul epocii. *I. Sachs* (1860, 1863, 1869), *H. Müller-Thurgau* (1880), *H. R. Göppert* (1883), apoi cu o amplă experimentare, *H. Molisch* (1897), *C. Mez* (1905), *B. Lidforss* (1907), *H. W. Fischer* (1911) etc., au contribuit la cunoașterea fenomenelor exterioare, dar mai ales citologice și tisulare, care produc îmbolnăvirea sau

Fig. 11. *N. A. Maximov* (1880—1952).

moartea prin îngheț. În general s-a ajuns la concluzia că moartea protoplasmei se datorește unui deranjament ireparabil de structură cauzat de pierderea apei, care îngheață apoi la nivelul meaturilor intercelulare, de unde ea mai produce și o insuportabilă apăsare asupra plasmei deshidratate.

Constatările acestea au deschis calea măsurilor de apărare a culturilor împotriva daunelor provocate de ger. Au început deci în veacul nostru noi cercetări cu obiective lărgite, al căror centru de greutate se mută în U.R.S.S., unde înghețul este o plagă endemică. După lucrările

fundamentale ale lui *Nicolae Alexandrovici Maximov* (1880-1952). începute încă în 1912-1914, școala lui de mai tîrziu, contribuțiile lui *I. I. Tumanov* și *S. M. Ivanov* etc. au reactualizat problema fiziologică-biochimică a efectului înghețului asupra plantelor, extinzînd observațiile în diferite regiuni ale Uniunii Sovietice pe diferite soiuri de plante, la diferitele organe și mai ales la diferitele stadii ale aceleiași specii. Problema a progresat enorm din punct de vedere principial, dar se desemnează mai ales din ce în ce mai precis complexul de măsuri practice, care duc la asigurarea progresivă a recoltelor împotriva gerului. Măsurile privesc în special crearea de noi soiuri călite pentru ger, ținînd seama din caz în caz de specificul climei de la o regiune la alta, în corelație cu modificările stadiale ale diferitelor soiuri, care urmează a fi cultivate.

Problema *rezistenței la secetă* a plantelor a intrat în domeniul fiziologic mult mai tîrziu, decît aceea a rezistenței la ger. Rezolvarea ei părea clară prin teoria ecologică-morfologică a xeromorfismului, care deducea din organizația xerofitelor, fără verificări experimentale, că ele transpiră foarte puțin, fapt care explică pe deplin rezistența lor de diferite grade față de secetă.

A fost firesc ca această problemă să-și găsească patria preferentă în U.R.S.S., cu terenul ei vast, cu clima ei continentală, cu producția ei agricolă prea des atinsă sau compromisă de secetă, cu principiul ei social de a asigura o maximă bunăstare în condițiile date ale mediului. *N. A. Maximov* constată experimental în 1923 că plantele de stepă transpiră foarte mult, desmințind astfel deducțiile de ordin fiziologic ale teoriei xeromorfismului. *Maximov* este tocmai părintele noțiunii de „rezistență la secetă" (1926) căreia îi dă o definiție precisă și o orientează din domeniul deducțiilor ecologice în laboratorul fiziologic și în cîmpul de experiență. *V. R. Zalenski, B. A. Keller, E. F. Votcial, P. A. Ghenkel, I. I. Tumanov, N. M. Sisakian, Maximov* înșuși cu școala sa, apoi și numeroși cercetători din apus, mai ales din S. U. A., au studiat amănunțit aspectele citofiziologice, biochimice, fiziologice, pedologice, de adaptabilitate, de ereditate, etc. ale rezistenței plantelor la secetă. Pornind de la aceste premise sigure și ținînd seama de natura diverselor regiuni în raport cu fazele ciclului evolutiv ale plantelor, s-au putut crea soiuri noi, rezistente, iar pedologii au indicat cele mai adecvate măsuri agrotehnice pentru o masivă și o cît mai sigură producție.

Problema rezistenței plantelor la secetă înregistrează deci în ultimele decenii rezultate noi și fundamentale din punct de vedere teoretic, dar ea deschide în același timp largi posibilități pentru ridicarea nivelului economic al omenirii.

* * *

Din evoluția fiziologiei plantelor în ultimele decenii, se poate deci ușor desprinde *ferma ei orientare practică, funcția ei socială din ce în ce mai pregnantă.* Fenomenul se afirmă la fel și în cazul altor discipline științifice în proporții atît de masive, încît în unele cercuri s-a vorbit de amurgul științei teoretice. O asemenea eventualitate este psihologicește și istoricește imposibilă. Istoria ultimei epoci arată că raportul dintre cele 2 categorii de științe este atît de complex și de intim, încît mai degrabă

putem vorbi de o îmbinare armonică decît de un conflict, între ele. O știință exclusiv teoretică nu-și mai poate revendica azi o frontieră precisă, căci sub impulsul voinței umane de a-și ridica nivelul de trai, orice descoperire teoretică este urmărită și sub raportul eventualei sale utilități. O știință exclusiv aplicată ar degenera în empirism și ar avea perspectivele blocate fără progresul concomitent al tematicei teoretice. Dezvoltarea acesteia asigură omenirii un fond principial și experimental de rezervă pentru viitoarele aplicațiuni utile. Pe de altă parte însă, știința aplicată, cultivată și ea de oameni de știință, nu mai este o simplă acceptoare a rezultatelor elaborate de știința teoretică, ci și o sursă remarcabilă de noi sugestii sau chiar de noi descoperiri care pot să nu implice momentan vreo utilitate practică.

BIBLIOGRAFIE

1. *Akademia Nauk S. S. S. R.*: Refe ativnîi Jurnal. Biologhia. Institut naucinoi în formații, Moskva. 1954—1956.
2. *Appelt H.*: Einführung in die mikroskopischen Untersuchungs-methoden, III. Aufl. Leipzig. 1955.
3. *Barton Wright, E. C.*: Recent Advances in Plant Physiology. London. 1933.
4. *Benecke, W.—Jost L.*: Pflanzenphysiologie. 4 Aufl. I. 1924.
5. *Macovschi, E.*: Metoda utilizării elementelor isotope radioactive artificiale în studiul proceselor biochimice. Revista Științifică „V. Adamachi". v. XXVI, 1940, p. 1—6.
6. *Maximov, N. A.*: Fiziologia plantelor. Ed. de Stat. 1951, (Trad.: *I. Bărbat*).
7. *Möbius, M.*: Geschichte der Botanik. Jena. 1937.
8. *Mothes, K.*: Bakterien, Pilze und Algen: ein neuer Typ von Kulturpflanzen. Die Kulturpflanze, II. 1964. Berlin.
9. *Pop, E.*: La centenarul „protoplasmei" (1846 - 1946). Cluj. Cartea romînească 1947
10. *Pora, E.*: Perspectivele întrebuințării energiei nucleare. Natura, VII, 1955. nr. 4. p. 45—66.
11. *Sachs, J.*: Geschichte der Botanik vom 16 Jahrhundert bis 1860. München, 1875.
12. *Sălăgeanu, N.*: Cercetări sovietice cu atomi marcați în fiziologia vegetală. Academia R. P. R. Analele romîno-sovietice. Biologie. 1954. p. 86—98.
13. *Timiriazev, K. A.*: Lucrări alese. Edit. Acad. R. P. R. 1956.
14. *Timiriazev, K. A.*: Metoda istorică în biologie. Ed. de Stat București, 1946.
15. *Wiesner, J.*: Jan Ingen-Housz. Wien, 1905.

FIZIOLOGIA PLANTELOR LA NOI

Cultivarea unei științe experimentale, cum e fiziologia plantelor, presupune, pe lîngă un nivel cultural ridicat al colectivității, perioade mai lungi de pace, dar mai ales o situație socială-materială destul de avansată, care să permită instalarea laboratoarelor, finanțarea cercetărilor, asigurarea informației științifice din ce în ce mai bogate. Aceste din urmă condiții, precum bine știm, au lipsit sau au întîrziat prea mult în țara noastră și deodată cu ele a lipsit și întîrziat mult și cultivarea științelor naturale. Cînd au început, însfîrșit să se înjghebeze societățile noastre naturaliste dintre care prima luase ființă încă în 1833 la Iași („Societatea de medici și naturaliști") ele s-au preocupat înainte de toate de răspîndirea naturalismului și de explorarea naturii încă puțin cu-

Scanned with OKEN Scanner

noscute. Ele nu dispuneau de laboratoare, cum nu a dispus nici Academia Romînă, care se înființase ce-i drept în 1866, dar care își organizase o secție științifică abia în 1879 subvenționînd sau patronînd de atunci încoace mai ales cercetarea pe teren.

De cultivarea la noi a fiziologiei vegetale, nu putem vorbi în aceste condițiuni, decît după înființarea universităților noastre, unde programa urma să cuprindă din ce în ce mai mult și noțiuni despre viața plantelor*. Pregătirea primilor noștri profesori-botaniști, fusese însă înainte de toate floristică-farmacognostică, nu fiziologică. Întîiul romîn doctor în botanică, *Daniil Popovici-Barcianu*, din Rășinari, susținuse, ce-i drept, o teză de embriologie vegetală la universitatea din Lipsca în 1874, dar întors în Ardeal, a fost silit să se ocupe mai mult de politică și pedagogie, popularizînd și probleme de științe naturale. Primii noștri profesori universitari de botanică, *Dimitrie Brîndză* (1846-1895), *Anastasie Fătu* (1815-1886), *Dimitrie Grecescu* (1841-1910) erau doctori în medicină.

Din această cauză și din lipsa laboratoarelor, fiziologia plantelor se cultiva în universitățile noastre pînă la începutul veacului nostru, doar didactic. Nu avem din această epocă decît un singur manual universitar de botanică, tipărit, acela al lui *A. Fătu* de la Iași**, care cuprinde pe 158 de pagini un foarte temeinic compendiu de fiziologie vegetală cu cea mai recentă documentare pentru data la care a apărut (1880).

Data hotărîtoare, care schimbă radical mersul învățămîntului universitar de fiziologie vegetală de la noi și declanșează un progres năvălitor al disciplinei noastre, este 12 martie 1907, cînd se creează catedra independentă de *anatomie* și *fiziologie vegetală* la universitatea din București, cu 3 ore de curs și 5 de lucrări practice pe săptămînă. În anul școlar 1910-1911 catedra își organizează un laborator cu buget propriu, care avea să devină în cîțiva ani unul din cele mai bine înzestrate laboratoare de fiziologia plantelor din sud-estul Europei.

La 1907 nu exista la est de Viena catedră independentă de fiziologie vegetală, decît la marile universități din Rusia. Dacă prin înființarea ei la București s-a putut realiza un act de guvernămînt atît de progresist, faptul se datorește în bună parte marelui prestigiu științific și moral, de care se bucura încă pe atunci, primul titular al catedrei, întemeietorul învățămîntului și al școalei fitofiziologice din Romînia *Emanoil C. Teodorescu* (1866-1949), căruia se cuvine să-i închinăm într-un manual romînesc de fiziologie vegetală o pagină de onoare.

Născut la 10 mai 1866 în comuna Siminicea (Botoșani) a urmat liceul la Botoșani, iar universitatea la Iași, unde ascultă cursurile avansate ale geologului *Grigore Cobîlcescu*, ale fiziologului *Leon Cosmovici* și ale botanistului *Anastasie Fătu*. După terminarea universității pleacă la Paris unde ascultă pe renumiții profesori zoologi: *Henri Felix Lacaze-Duthiers* și *Yves Delage*, pe biochimistul *E. Duclaux*, pe fiziologul *A. Dastre* și pe botanistul multilateral *Gaston Bonnier*. După ce își ia licența în științe naturale, *Teodorescu* își pregătește teza de doctorat sub conducerea lui *Bonnier*. Tocmai în perioada studiilor lui *Teodorescu* la Sorbona, *Bonnier*

*) Universitatea din Iași se înființează la 1860, cea din București la 1864.

**) Elemente de Botanică. Tomul I. Histologia. Organographia și Physiologia vegetale. Iești, 1880. Tipografia Anton C. Savul, strada Lăpușneanu.

era preocupat mai ales de „anatomia experimentală", urmărind împreună cu colaboratorii săi efectul factorilor externi asupra structurii plantelor. În „laboratorul de biologie vegetală" de la Fontainebleau, proaspăt înființat de *Bonnier*, s-a lucrat mai mulți ani de-a-rîndul anatomie experimentală.

Teza de doctorat a lui *Teodorescu* face parte din aceeași categorie de probleme: *„Influența diverselor radiațiuni luminoase asupra formei și structurii plantelor"*, teză pe care o lucrează parte la Paris, parte la Fontainebleau și o susține la 1899, publicînd-o în același an la Paris.

Fig. 12. *E. C. Teodorescu* (1866—1949).

Dar cu un an înainte de doctorat *Teodorescu* publică în dările de seamă ale Academiei din Paris, în colaborare cu *H. Coupin* o lucrare despre „Influența anesteziciIor asupra formării clorofilei". Aceasta este întîia lucrare a lui *Teodorescu* și întîia lucrare românească originală de fiziologia plantelor, concepută în întregime fiziologic și lucrată în întregime experimental *.

*) Intîia cercetare originală a unei funcțiuni vegetale o face de fapt, dintre români, *Ambrosie Cheșianu* (1863—1934), care în teza sa de doctorat susținută la Cluj în 1891 descoperă și descrie circulația protoplasmei la *Ruppia transsilvanica*, urmărind o evolutiv și măsurîndu-i viteza.

Teodorescu a rămas legat de laboratorul de la Fontainebleau unde se duce adesea și mai tîrziu pentru a-și verifica cercetările din țară sau chiar pentru a întreprinde lucrări experimentale mai mari, cum a fost „volubilitatea la întuneric" urmărită în 1924.

Întors în țară se dedică vreo cîțiva ani studiului algelor descoperind 2 genuri noi pentru știință: *Gomontiella* (1901, de la Hagighiol) și *Dunaliella (1905,* de la Lacul Sărat) și publicînd apoi în 1907 o monografie fundamentală: „Materiale pentru flora algologică a Romîniei".

După 1907 Teodorescu se străduiește și reușește din plin să-și organizeze catedra, apoi laboratorul, care evoluează într-o adevărată uzină de cercetare fiziologică. În 1935 cînd ctitorul Teodorescu se pensionează, laboratorul dispunea de spațiul și utilajul unui laborator modern și primea 34 de reviste de specialitate din toată lumea. Cu 9 ani mai tîrziu însă a trebuit să îndure lovitura de a-și vedea laboratorul și întreg institutul botanic de la Cotroceni transformat în ruine, iar biblioteca Laboratorului de Fiziologia Plantelor mistuită de flăcări în urma bombardamentului din 4 aprilie 1944.

Din fericire această dezolantă pierdere pentru știința romînească s-a petrecut după ce *E. C. Teodorescu* își încheiase opera sa principală de cercetător și mult după ce formase o pleiadă de fitofiziologi, care au avut în majoritatea cazurilor misiunea să asigure învățămîntul universitar și creația științifică în domeniul disciplinei noastre din ultimele decenii.

Din 1898 pînă la moartea sa din 1949, *E. C. Teodorescu* a publicat 33 de lucrări originale. Acest număr nu prea mare raportat la cei peste 50 de ani de activitate științifică neîntreruptă, însemnează totuși o producție excepțională, pentrucă lucrările lui sînt în bună parte elaborări monografice de mari proporții. Cele aproximativ 1700 pagini publicate de el sînt pline de rezultate precise obținute prin experiențe de o excesivă rigurozitate.

Subiectele, pe care le-a cercetat sînt destul de diferite, cîteva din ele l-au preocupat totuși timp mai îndelungat. Așa este: modificarea structurii și dezvoltării plantelor sub influența factorilor mediului, ca lumina totală sau diferitele ei radiațiuni, temperatura, anestezicii, acidul carbonic (8 lucrări); acțiunea radiațiilor luminoase asupra creșterii; acțiunea temperaturilor joase și ridicate asupra nucleazelor (4 lucrări); mișcarea diurnă a zoosporilor de alge (5 lucrări), o problemă controversată, în care *Teodorescu* aduce lumină, dovedind caracterul endonom al acelor mișcări și influența de ordin cantitativ a luminii și a diferitelor ei radiațiuni; mișcarea plantelor volubile la lumină și la întuneric (3 lucrări fundamentale). Alte probleme abordate: asimilația azotului și a fosforului nucleic de către algele inferioare; descoperirea ficoeritrinei

la algele albastre; precizarea efectului esenţelor vegetale asupra transpiraţiei; rolul liberului în circulaţia substanţelor organice; acţiunea eleudronului asupra dezvoltării plantelor etc.

Rezultatele obţinute de *Teodorescu* au fost discutate şi înserate în cele mai de seamă tratate moderne. Cînd a împlinit 70 de ani, prietenii din ţară şi străinătate, precum şi elevii i-au tipărit un volum omagial, compus din lucrări ştiinţifice, iar după moartea lui Academia R.P.R., al cărei membru organizator a fost, i-a retipărit întreaga operă în 3 volume.

Fig. 30. *I. C, Constantineanu* (1859—1931).

Dar, decît impresionanta sa creaţie ştiinţifică, este şi mai meritorie pentru naţiunea noastră, şcoala romînă de fitofiziologie, iradiată în toată ţara din experienţa, puterea de organizare şi pilda personală a profesorului *Teodorescu*.

Şi-a asigurat primii colaboratori din tineri specializaţi, pentru ca în curînd să şi-i recruteze din propriii săi elevi. Vom enumera pe cei mai de seamă, indicînd succint la fiecare, tematica principală şi rolul didactic.

Ion C. Constantineanu (1859-1931), terminase universitatea la Iași, specializîndu-se în fiziologia plantelor și în micologie la Halle, unde își trece doctoratul cu teza: Despre condițiile de dezvoltare ale Mixomicetelor. A fost întîiul asistent al lui *Teodorescu*, pe care îl ajută la organizarea catedrei, a învățămîntului și a laboratorului în primii și cei mai grei 5 ani (1907-1912). Din 1912 devine titularul noii conferințe de fiziologie vegetală de la Iași, iar din 1924 pînă la moartea sa titularul catedrei. A transplantat la Iași programa și maniera de lucru de la București. A fost unul din primii noștri micologi, de o rară conștiinciozitate.

N. T. Deleanu, chimist și fitofiziolog, avea, la înființarea și în prima perioadă de afirmare a catedrei de la București, o operă masivă de cercetare, foarte apreciată peste hotare, despre lipazele mucegaiurilor (1907), despre absorbția și rolul fitofiziologic al sărurilor minerale (1907, 1908, 1909), despre desasimilația vegetală (1909), despre rolul celulelor vii în transportul substanțelor asimilate (1911), despre mersul respirației foliare în raport cu fotosinteza (1911-1913).

După plecarea lui *Constantineanu* la Iași, *Deleanu* îi ocupă locul la București, din 1912 pînă în 1916, continuîndu-și cercetarea asupra respirației.

Deși se dedică apoi carierei de chimist, devenind profesor de chimie la facultatea de farmacie din București, întreprinde singur sau cu noii săi colaboratori *(Andreescu, Bordeianu, Dic)* interesante experiențe cu privire la variația cantitativă și circulația prin corpul plantei a substanțelor minerale și organice.

Constantin C. Popescu, asistent, apoi șef de lucrări al lui *Teodorescu* pînă în 1926, pentru a deveni apoi profesor de anatomie și fiziologie vegetală la Facultatea de Agronomie din București. A colaborat cu *Teodorescu* la originalul studiu despre țesutul liberian și rolul său în circulația substanțelor organice la plantele superioare (1915). Meșter altcitor, s-a ocupat apoi de influența reciprocă a simbionților de altoire, ajungînd la concluzii concordante cu ale lui *Miciurin*.

Ștefan Popescu, preparator din 1916, apoi asistent al lui *Teodorescu* pînă în 1927, cînd trece conferențiar de fitotehnie, apoi profesor de ameliorarea plantelor agricole la Facultatea de Agronomie din Iași. În teza sa de doctorat (1926), după o amplă documentare experimentală ajunge la concluzii, diferite față de teza clasică, în ce privește regiunea absorbantă radicală.

Stan Ionescu (1889-1945), elev, apoi preparator al lui Teodorescu între 1916 și 1919, cînd, obținînd o bursă, pleacă la Paris unde își trece doctoratul (1923) la același *Gaston Bonnier*, la care și-l trecuse și *Teo-*

dorescu. Docent apoi și titular al conferinței de pe lîngă catedra lui *Teodorescu*. Din 1937 este urmașul lui *Constantineanu* la Iași, iar din 1940 pînă la moartea sa, titular al catedrei-mume de fiziologia plantelor de la București. Tema sa principală, urmărită pînă la sfîrșitul vieții, a fost: originea și rolul pigmenților antocianici, fiind un aprig apărător al ipotezei, care preconizează geneza prin oxidație a glicozizilor antocianici.

Fig. 14. *Stan Ion scu* (1889—1945).

Paul P. Stănescu, elev, asistent, apoi șeful de lucrări al lui Teodorescu din 1919 pînă în 1935, iar alți 3 ani la urmașul lui Teodorescu, prof. *I. Grințescu*. Din 1940 a condus catedra de botanică generală de la Facultatea de Farmacie din București. Tema principală a lui *P. P. Stănescu*, angajată experimental, singur sau în colaborare cu *A. Săvulescu, I. Mihăilescu, L. Juracec*, este felul de acumulare a produșilor fotosintezei în frunze în cursul zilei, în diferite condiții (1924, 1926, 1927, 1936), temă, pe care o îmbogățește cu contribuții fundamentale. O altă problemă abordată este aceea a proceselor de ofilire și de uscare (1929, 1937).

Scanned with OKEN Scanner

Alexandru Iuracec, preparator din 1926, apoi asistent la *Teodorescu.* Șef de lucrări la catedra de la Iași (din 1939), apoi conferențiar de botanică generală la facultatea de farmacie din București. În numeroase lucrări se ocupă de culturi de mucegai urmărind dezvoltarea lor la pH diferit, precum și influența lor asupra pH-ului mediului și efectul ce-l au în această privință temperatura, fierul, zincul. Într-o altă serie de lucrări se ocupă de raportul dintre cantitatea de clorofilă și fotosinteză, apoi de metabolismul indivizilor de sexe diferite de la unele plante dioice.

Ion Gr. Mihăilescu, elev și preparator (1927-1933) al lui *Teodorescu;* șef de lucrări la Cluj (1933-1944), profesor titular de fiziologia plantelor la Iași, apoi la Institutul Agronomic din Craiova. Lucrează în special la urmărirea rolului fiziologic al nervurilor foliare, a acumulării substanțelor în frunze și a migrării lor. Cercetează procesul de îngălbenire autumnală a frunzelor, apoi facultatea extractului din frunze suculente de a inhiba germinația semințelor.

Emilia Bucur-Iliescu, preparatoare și asistentă a lui Teodorescu (1926-1935), apoi șefă de lucrări a catedrei, se ocupă de îngroșarea secundară la Monocotile și de stimularea germinării semințelor.

Nicolae Sălăgeanu, ultimul preparator, în ordine cronologică (1933-1935) al lui *Teodorescu.* A continuat ca asistent și șef de lucrări la catedră, pentru ca din 1946 să devină titularul ei. Din 1948 este membru corespondent al Academiei R.P.R. și a îngrijit retipărirea operelor lui Teodorescu în editura Academiei.

Lucrează în problema destul de complicată a nutriției Rhinantheelor mixotrofe, făcînd mai ales bilanțul între asimilația și respirația lor în comparație cu al autotrofelor. Cu dispozitive personal întocmite cercetează raportul dintre asimilație și respirație la frunze și variația lui la diferite intensități luminoase. În alte cîteva lucrări stabilește raportul între conținutul în auxine, plasticitatea membranelor și gradul de curbură ale diferitelor sectoare de la tulpinile volubile. În ultimul timp, singur sau cu colaboratorii săi *(H. Chirilei, E. Iliescu, G. Gălan, C. Tașcă)* abordează probleme fiziologice în legătură cu producția, cum ar fi: acțiunea stimulatorilor, efectul încălzirii prealabile a solului, fiziologia dezvoltării, comportarea protoplasmei la ger, nevoia de apă a plantelor, etc.

De la catedra-mumă a fitofiziologiei romînești s-a desprins profesorul *H. Chirilei* (Institutul Agronomic din București), care s-a ocupat de fermentația oxalică, de flavone și taninuri, de formarea pigmenților antocianici, de efectul citofiziologic al gerului, de metabolismul porumbului.

Din celelalte centre bucureștene, unde se cultivă fiziologia plantelor, citățm: laboratorul botanic de la facultatea de farmacie unde profesorul *Th. Solacolu* (1876-1940), în colaborare cu *D.* și *M. Constantinescu, C. Iliescu,* a efectuat experiențe moderne de culturi de țesuturi, de influența unor substanțe hormonale sau sintetice asupra germinării semințelor, producerii tumorilor, creșterii plantelor, asupra țesuturilor, etc.

Menționăm în aceeași ordine de idei cercetările întreprinse de academicianul *C. I. Parhon* și *Gh. Werner,* în privința efectului unor hormoni animali asupra dezvoltării plantelor. De asemenea stăruitoarele experiențe ale biochimistului academician *E. Macovschi* asupra stimulării semințelor, asupra proceselor de exosmoză la semințe etc.

Din fiziologii bucureşteni neafiliaţi vreunui laborator oficial amintim pe *N. Moisescu,* specializat în Germania în fitofiziologie chiar înainte de înfiinţarea catedrei de la Bucureşti. Încă în Germania a publicat contribuţii experimentale în probelma tropismelor şi a calcipenuriei (1905), iar revenind în ţară a tipărit preţioasa sa carte „Fiziologia vegetală experimentală" (1907).

La Iaşi, unul din elevii lui *Constantineanu, N. Zamfirescu* a studiat temeinic absorbţia apei prin frunze, contribuind la întemeierea teoretică a nutriţiei extraradiculare a plantelor. *M. Celan* studiind citologia algelor roşii, s-a ocupat şi de circulaţia prin talul lor. *V. V. Radu* a cercetat efectul diverselor temperaturi asupra germinării sporilor şi seminţelor.

Ceilalţi fiziologi ieşeni, *Stan Ionescu, Al. Iuracec, I. Mihăilescu,* fac parte din şcoala lui Teodorescu, prezentată mai înainte.

La universitatea din Cluj, învăţămîntul fiziologiei vegetale, inexistent pînă atunci, a fost întemeiat de profesorul *I. Grinţescu,* fostul elev şi colaborator al lui *R. Chodat* din Geneva. Încă în 1900 a publicat împreună cu *Chodat* în actele congresului botanic internaţional de la Paris, o lucrare fundamentală despre metodele culturilor pure de alge verzi, iar în 1902 şi 1903 studiază din punct de vedere morfologic şi fiziologic algele *Scenedesmus acutus* şi *Chlorella vulgaris.* Desenele lui *I. Grinţescu* privind stadiile ciclului evolutiv al Chlorellei sînt clasice. În colaborare cu *A. Grinţescu* studiază mişcările spontane şi provocate ale frunzelor de Leguminoase, împreună cu substratul lor histologic (1915).

Ajuns la Cluj a tipărit cunoscutul manual de *Botanică generală* continuîndu-şi culturile de alge, singur, sau în colaborare cu elevul său *Ştefan Péterfi.*

Asistentul său, *E. Reimesch* s-a ocupat cu fiziologia fermentaţiei alcoolice, perfecţionînd personal metodele de cercetare.

Ştefan Péterfi a adus preţioase contribuţii la fiziologia unor alge verzi sub influenţa factorilor fizico-chimici, inclusiv a heteroauxinei. Ajuns titular al catedrei de fiziologia plantelor de la universitatea „Bolyai" din Cluj, a editat un manual de fiziologie în limba maghiară şi a întreprins lucrări de iarovizare şi hibridizare, de determinarea conţinutului în acid ascorbic, împreună cu elevii săi *(Brugovitzky, Lörinczi, Molnár).* Este membru corespondent al Academiei R.P.R.

La universitatea „V. Babeş", s-au lucrat şi se lucrează următoarele probleme: mişcările protoplasmei (acad. *Emil Pop,* conferenţiar *A. Radu,* aspirant *V. Soran);* ecologia bacteriilor nitrificante *(E. Pop);* ecologia viţei de vie şi a Ephedrei *(E. Pop);* funcţiunea hidatodică *(E. Pop);* mişcarea „reotropică" *(E. Cupcea);* ecologia mlaştinilor de turbă *(E. Pop, B. Diaconeasa);* variaţiile anuale ale presiunii osmotice *(I. Pop* şi *M. Cădariu);* rolul calciului şi fosforului în rizogeneză *(I. Pop);* acţiunea extractului de turbă *(A. Fabian, E. Chiorean).*

*
* *

Trebuie să subliniem masivul aport fitofiziologic al instituţiilor de *ştiinţă aplicată* de la noi.

Drept primele contribuţii de fiziologie vegetală ar trebui să considerăm studiile făcute asupra bacteriilor încă din ultimele decenii ale vea-

cului trecut de *V. Babeș* și de colaboratorii săi urmați de numeroși microbiologi de la *Institutul Cantacuzino*, și alte instituții de medicină. Microbiologia s-a detașat însă între timp de fitofiziologie. Subliniem deasemenea contribuțiile fitopatologiei, ajunsă la noi într-o epocă de înflorire sub conducerea academicianului *T. Săvulescu*. Stabilirea proceselor patologice în comparație cu cele fiziologice, studiul vieții agenților patogeni vegetali, reprezintă incursiuni neîncetate în fitofiziologie.

Dar o mențiune specială trebuie să aducem *agronomilor* noștri care în vederea ridicării calitative și cantitative a producției, studiază nutriția, metabolismul general, rezistența față de condițiile nefavorabile, precum și posibilitățile de stimulare ale plantelor de cultură. Cotribuțiile lor, privind fiziologia plantelor utile sau dimpotrivă, a celor dăunătoare, s-au înmulțit atît de mult în ultimele decenii și mai ales de la 1944 încoace, încît ar trebui să le consacrăm un capitol special. Prin ele se realizează în sensul evoluției din zilele noastre a fitofiziologiei, legătura organică dintre știința teoretică și cea aplicată, iar prin recenta operă de orientare și coordonare a tematicilor, întreprinsă de Academia R.P.R., se asigură ajutorul mutual și neîntrerupt al celor două tipuri de discipline, precum și funcția lor socială comună.

BIBLIOGRAFIE

1. *Academia R.P.R., Academician Em. C. Teodorescu:* Opere complete I—III. București, 1951.
2. *Academia R.P.R.:* Buletin Științific, Secțiunea de Științe Biologice, Agronomice... I, 1949.
3. *Analele Academiei Romîne:* Memoriile Secțiunii Științifice, ser. III (1922 — 1948). Memoriile *Academiei Romîne*:
4. *Annales scientifiques de l'Université de Jassy* (I, 1901—).
5. *Borza, Al. — E. Pop:* Bibliographia botanica Romaniae (1923—1947). Buletinul Grădinii botanice și al Muzeului Botanic de la Universitatea din Cluj. t. III, XXVII.
6. *Botez, I. G.:* Profesorul Ion Constantineanu. Revista Științifică „V. Adamachi", Iași, XVIII, 1932, nr. 1.
7. *Bulletin de la section scientifique de l'Academie Roumaine.* (1912—1948).
8. *Comunicările Academiei R.P.R.* (I, 1950 —).
9. *Hommage au Professeur Em. C. Teodoresco,* București, 1937.
10. *Ionescu St.:* Profesorul Em. C. Teodorescu. Revista Științifică „V. Adamachi", XXXI, 1945, p. 217—219.
11. *Mihăilescu, I. G.:* Profesorul Stan Ionescu. Revista Științifică „V. Adamachi", XXXI, 1945, p. 212—216.
12. *Pop, E.:* Evoluția Laboratorului de anatomie și fiziologie vegetală de la Universitatea din Cluj. Cluj, 1947.
13. *Pop, E.:* La moartea profesorului Stan Ionescu. Buletinul Grădinii Botanice și al Muzeului Botanic de la Universitatea din Cluj, XXVI, 1946, p. 1—10.
14. *Stănescu, P. P.:* Profesorul E. C. Teodorescu. București, 1936.
15. *Săvulescu, T.:* Începuturile științei în Romînia. Botanica. — Analele Academiei Romîne. Memoriile Secțiunii Științifice, Ser. III. t. XVIII, Mem. 14. — 1943.

Scanned with OKEN Scanner

CAPITOLUL II

NUTRIȚIA PLANTELOR CU SUBSTANȚE MINERALE ȘI CU AZOT

Prof. H. CHIRILEI

I. Metabolismul, expresia unității dintre organisme și mediu

Plantele ca organisme vii, au nevoie ca și animalele, pentru creșterea și dezvoltarea lor cît și pentru procurarea energiei necesare întreținerii proceselor vitale, de hrană.

Plantele își iau hrana necesară, din mediul înconjurător (sol, apă, aer). Cele verzi își iau hrana sub formă de săruri minerale dizolvate în apă și de bioxid de carbon din aer, deci sub forma de substanțe anorganice.

Hrana minerală pe care și-o iau plantele verzi din mediul înconjurător diferă de substanța proprie care alcătuiește corpul lor. De aceea înainte de a fi folosite pentru asigurarea funcțiilor vitale, substanțele intrate sînt transformate în substanțe proprii, identice cu ale organismului dat.

Acest proces are loc printr-o serie de reacțiuni chimice de sinteză și poartă numele de asimilație sau anabolism.

Reacțiile de sinteză sînt endotermice, adică se fac cu absorbție de energie. Plantele verzi își iau energia sub formă de energie luminoasă de la soare, iar plantele fără clorofilă din oxidarea substanțelor anorganice sau organice sintetizate de către plantele verzi.

Substanțele sintetizate includ în ele energia necesară desfășurării proceselor vitale, care trebuie însă eliberată.

Eliberarea aceste energii se face cu ajutorul oxigenului din aer luat de plante în procesul respirației. In respirație substanțele sintetizate purtătoare de energie sînt descompuse în elementele inițiale componente și eliminate în mediul înconjurător. Acesta este procesul desasimilației sau catabolismul. Aceste două procese antagoniste, (asimilației și desasimilația), dar strîns legate unul de altul, cuprinse la un loc sub numele de *„metabolism organic"*, întrețin toate procesele vitale, însăși viața organismului. Prin metabolism se stabilește unitatea indisolubilă între organism și mediul înconjurător.

De pildă, o plantă verde dacă din anumite cauze nu e în măsură să absoarbă soluțiile minerale din sol și bioxidul de carbon din aer, substanțe ce-i servesc la sintetizarea substanțelor organice nutritive, ea se ofilește și moarte. Izolat de mediul înconjurător organismul încetează de a mai fi viu.

Această particularitate este caracteristică numai corpurilor cu viață. Corpurile fără viață (rocile, mineralele) cu cît vor fi mai ferite de influența mediului extern cu atît vor rămîne mai mult timp neschimbate.

De aici se vede că orice organism viu se construiește pe sine din condițiile mediului înconjurător, în absolută concordanță cu acesta.

În conformitate cu mediul în care trăiesc, (sol, apă, aer), plantele capătă proprietăți specifice, care vor putea fi transmise urmașilor. Așa se explică diversitatea plantelor ce se întîlnesc pe suprafața pămîntului.

Trebuie de știut însă că deși metabolismul caracterizează viața în general, totuși fiecare organism își are metabolismul propriu, care se poate modifica sub influența condițiilor de mediu modificate. Schimbîndu-se metabolismul se schimbă și natura (ereditatea) ființei respective.

Din metabolism, însușirea de bază a materiei vii, au rezultat toate celelalte însușiri ale ființelor, prin care acestea se deosebesc calitativ de lumea fără viață sau anorganică.

Astfel, fenomenul de creștere și dezvoltare, de sensibilitate și de mișcare, ereditate, variabilitate, reproducere, sînt rezultatul metabolismului ale schimbărilor permanente între organisme și mediu.

Scurt istoric asupra nutriției minerale a plantelor

Concepția despre unitatea dintre plante și mediu o găsim la Aristotel, care în lucrările sale arăta că plantele își iau hrana din sol, însă în formele în care ea se găsește în corpul lor.

Această concepție, cu mici modificări, a dominat aproape 2000 de ani în știință (pînă la 1840), cînd a fost definitiv înlăturată.

În evul mediu, au existat totuși învățați, care au arătat că plantele folosesc în nutriția lor substanțe minerale pe care le absorb din sol, prin rădăcini.

Astfel, de pildă, Bernard Palissy, a expus în cartea sa „Traités des sels divers et de l'agriculture", apărută în anul 1563, idei care sînt valabile și astăzi.

„Sarea, scria B. Palissy, face să vegeteze și să crească toate semințele. Dacă în loc să împrăștii uniform gunoiul pe cîmp îl pui în grămezi mici, îl lași să stea cîtva timp ca ploile să-l spele și apoi vei îndepărta gunoiul spălat și vei ara și semăna plante, acestea se vor dezvolta mult mai bine în locul grămezilor, din cauză că ploile spălînd gunoiul au dus sărurile în sol, făcîndu-l mai fertil. Nu gunoiul de vite ca atare, ci sărurile din dejecțiuni și din paiele din așternut lucrează favorabil asupra solului. Dacă se cultivă plante mai mulți ani în șir pe același teren, acesta va fi epuizat în săruri. Prin gunoiere se restituie solului aceste săruri. Cînd vorbim de săruri nu ne gîndim la sarea comună, de bucătărie, ci la sărurile vegetative".

Mai tîrziu, învățații Malpighi (1628—1694) și Mariotte (1620—1684) au arătat că sucul supt prin rădăcinele plantelor, din sol, este prelucrat în componentele lor numai în frunze.

Cam în același timp, 1699, învățatul Woodard, arată că dacă plantele de mentă se cultivă în medii apoase (apă distilată, apă de izvor, de rîu și de canal), dau o producție cu atît mai mare cu cît apa în care se cultivă este mai impură.

Scanned with OKEN Scanner

Hales, care a trăit între anii 1677—1761, arată că rădăcinele plantelor absorb apă cu materii nutritive din sol și că din acestea și componentele aerului se formează substanța plantei. Acest învățat este cel dintîi care arată importanța aerului în nutriția plantelor.

Aceste cercetări, au fost apoi reluate și complectate de către Th. De Saussure. În lucrarea sa, „Recherches chimiques sur la végétation" apărută în 1804, în urma a numeroase experiențe făcute asupra germinației, asimilației carbonului, respirației plantelor, humusului, asupra cenușei plantelor, absorbției soluției saline de către rădăcini, etc. a clarificat mult nutriția plantelor.

El arată că substanța organică a plantelor e sintetizată din anhidrida carbonică din aer și apă, cu ajutorul luminii, că solul dă relativ puțină substanță față de masa vegetală produsă. De Saussure mai arată că plantele își procură azotul necesar nu ca azot liber din aer, ci ca azot combinat din sol, că plantele absorb elementele din cenușa lor tot din sol și nu proporțional, cum se găsesc în acest mediu, ci cum au nevoie etc.

Th. De Saussure este primul învățat care a schițat principiile nutriției plantelor aproape așa cum sînt admise în știința modernă. Bine înțeles că ulterior, cercetătorii au complectat și au modificat unele din concepțiile sale, însă nu esențial.

În urma acestor dovezi, de necontestat, era de așteptat să fie înlăturată concepția lui Aristotel, însă lucrurile nu s-au desfășurat astfel. Mai existau mulți cercetători, care susțineau această concepție. Alții, ca Thaer, susținea că principala sursă de hrană pentru plante este humusul din sol și că substanțele minerale au un rol secundar, numai de ameliorante.

Aceste idei unilaterale au frînat încă pentru cîtăva vreme dezvoltarea concepției despre nutriția cu substanțe minerale a plantelor, cînd în 1840 au fost înlăturate prin cercetările lui Liebig. Acest învățat, bazat pe cercetările predecesorilor săi și pe cercetările personale, elaboră teoria nutriției minerale a plantelor. „Toate plantele, scrie Liebig, în cartea sa „Chimia organică aplicată la agricultură și fiziologie", se hrănesc cu substanțe minerale. Plantele trăiesc din acid carbonic, apă, amoniac, azotați, acid fosforic, sulfuric, silicic, calciu, potasiu, fier. Anumite plante necesită sare (NaCl)".

„Îngrășămintele organice pot fi înlocuite prin combinații minerale similare acelora ce se pun în libertate prin transformările lor în sol etc.". Însă Liebig a elaborat și o lege, și anume „legea minimului", pe baza introducerii îngrășămintelor în practica agricolă. Potrivit acestei legi mărimea recoltei e determinată de cantitatea de elemente necesare din sol, care satisface plantele în cea mai mică măsură, adică de elementele care se află în minimum în sol. Pe măsură ce se mărește conținutul acestui element în minimum, în sol, recolta va crește proporțional cu doza administrată din acest element, pînă în momentul cînd alt element este în minimum. Această lege deși a jucat un rol important în dezvoltarea științei îngrășămintelor, este mecanicistă, cum au arătat cercetările ulterioare.

Dar cu toate argumentele aduse de Liebig în teoria sa asupra nutriției minerale a plantelor, problema nu se putea considera definitiv rezolvată. Trebuiau aduse dovezi precise, care să reziste oricărei critici.

Scanned with OKEN Scanner

Aceste dovezi au fost aduse de către cercetătorii Wiegmann și Polstroff în 1842, pe baza cercetărilor făcute cu culturi de plante pe medii apoase alcătuite din substanțele minerale care se găsesc în mod regulat în cenușa plantelor.

Din cercetările făcute, Wiegmann și Polstroff, trag concluzia: „creșterea plantelor e împiedicată și aproape oprită de îndată ce oarecare cantitate de componente anorganice nu se găsesc în sol".

Cercetările care au urmat nu au făcut decît să completeze, să aprofundeze și să elimine unele idei mecaniciste. O contribuție însemnată în domeniul nutriției plantelor au adus cercetătorii sovietici, D. N. Prianișnikov, D. A. Sabinin, I. E. Ratner, V. A. Petersburgskii ș. a.

D. N. Prianișnikov s-a ocupat de problema nutriției plantelor cu azot. D. A. Sabinin a adîncit studiul absorbției substanțelor minerale, asimilării carbonului și respirației, iar I. E. Ratner și V. A. Peterburgskii, problema mecanismului absorbției substanțelor minerale din sol.

Prin contribuția adusă de către acești cercetători și mulți alții, astăzi este definitiv stabilit că îngrășămintele nu acționează deloc independent unele de altele, cum a presupus Liebig și adepții lui, că între elementele nutritive se află o interdependență complexă.

Pentru plante nu este deloc indiferent în ce raporturi se găsesc elemenetele necesare pentru nutriția lor, că prin mărirea cantității de azot se mărește și necesitatea plantelor pentru nutriția cu potasiu și fosfor.

Din lucrările cercetătorilor sovietici se mai știe că necesitatea elementelor minerale pentru plante variază foarte mult în funcție de condițiile climatice și în special de cele de umiditate. De aceea pentru a se obține recolte mari nu este suficient să se dea plantelor numai acele îngrășăminte care satisfac lipsa elementului minim, ci este nevoe să se satisfacă cît mai complet toate necesitățile plantelor.

II. Stabilirea necesității elementelor minerale după elementele determinate în cenușa plantelor. Clasificarea elementelor minerale

a) Metoda analitică

Primele cercetări asupra necesității elementelor minerale în viața plantelor s-au făcut pe baza analizei elementare a plantelor sau organelor de plante. Baza acestui studiu a fost pusă de Duhamel de Monceau, care a trăit între anii 1700 și 1781. Pentru această analiză se ia planta sau organe de plantă și se usucă mai întîi la 50—60°C la aer, pentru a se îndepărta o parte din apă, apoi la 104°—105°C, în etuvă, pentru îndepărtarea totală a apei.

După ce se cîntărește substanța uscată se incinerează la o temperatură de 700,C, într-un cuptor special. La această temperatură substanța organică arde și se volatilizează.

Carbonul din ea se elimină sub formă de CO_2, hidrogenul și oxigenul sub formă de vapori de apă, iar azotul sub formă de NH_3 sau de azot molecular.

Rezidiul nevolatil, care rămîne după arderea masei vegetale, reprezintă cenușa.

Diferitele organe sau părți ale plantei prezintă un conținut variat în cenușă. Cantitatea cea mai mică de cenușă o dă lemnul (aproximativ 1%). Semințele conțin o cantitate ceva mai mare (aproximativ 3%). O cantitate și mai mare de cenușă dau prin ardere parenchimurile vii (aproximativ 4—5%). Scoarța arborilor dă aproximativ 7% cenușă, iar frunzele 10—15%.

Însă procentul de cenușă poate să varieze după natura speciei de plantă. Frunzele de cartof prin ardere dau 5—13% cenușă, cele de sfeclă 11—21%, iar cele de napi 8—15%. Procentul în cenușă poate varia și în funcție de stadiul de dezvoltare al plantei. Dacă se analizează corpul plantelor la diferite intervale în cursul perioadei de vegetație se constată că proporția în cenușă crește, apoi scade. Cantitatea de cenușă variază și în funcție de compoziția chimică și umiditatea solului.

În genere, plantele care trăiesc pe soluri bogate în săruri minerale și uscate dau prin arderea lor o cantitate mai mare de cenușă decît aceleași plante ce cresc pe un sol mai sărac în substanțe minerale și umed.

Cenușa este alcătuită din substanțe minerale. Compoziția chimică a cenușei este foarte complexă și variată, după plantă, după natura și vîrsta organelor.

În tabelul nr. 1 se poate urmări compoziția cenușei la cîteva plante de cultură, privind elementele care se găsesc în cantități mai mari.

Compoziția cenușei la cîteva plante agricole (*g* la 100 grame cenușă)

Tabel nr. 1.

	K_2O	NA_2O	CaO	MgO	P_2O_5	Fe_2O_3	SO_3	SiO_2	Cl
Semințe									
Grîu	30,2	0,6	3,5	13,2	47,9	0,6	—	0 7	—
Porumb	29,8	1,1	2,2	15,5	45,6	0,8	0,8	2,1	0,9
Fasole	41,5	1,1	5,0	7,1	38,9	0,5	3,4	0,6	1,8
In	26,7	2,2	9,6	15,8	42,5	1,1	—	0,9	—
Trifoi	35,3	0.9	6,4	12,9	37,9	1,7	2,4	1,3	1,2
Tulpini și frunze									
Grîu	13,6	1,4	5,8	2,5	4,8	0,6	—	67,4	—
Porumb	27,2	0,8	5.7	11,4	9,1	0,8	—	40,2	—
Hrișcă	46,6	2,2	18,4	3,6	11,2	—	—	5,5	—
In	34,1	4,4	28.8	15,0	6,2	3,7	—	6,7	—
Trifoi	27,2	0,3	29,3	8,3	10,7	0,6	—	6,2	—
Tuberculi și rădăcini									
Cartofi	60,0	3,0	2,6	4,9	16,9	1,1	6,5	2,1	3,4
Sfeclă de zahăr	53,1	8,9	6,1	7,9	12,2	1,1	4,2	2,3	4,8
Napi	45,4	9,8	10,6	3,7	12,7	0,8	—	1,8	5,0
									din N. A. Maximov
Fructe									
Ananas	45,2	6,8	6,1	9,8	23,2	—	3,1	5,8	
Cireșe	51,9	2,2	7.5	5,5	16,0	2,0	5,1	9,0	
Mere	35,7	26,1	4,1	8,7	3,31	1,4	6,1	4,3	
Struguri	33,0	—	8,6	2,6	1,52	1,0	4,5	1,0	
									din M. Molliard

Din tabel se poate constata că semințele sînt bogate în potasiu și fosfor. Tulpina și frunzele de grîu, porumb, sînt bogate în siliciu. Tulpinele de hrișcă, de in și de trifoi sînt bogate în calciu. În tuberculi și rădăcinile tuberizate se găsește o cantitate mare de potasiu și fosfor.

Aceste cîteva date, obținute pe calea analizei elementare, sînt incomplete. În tabel sînt prezentate numai elementele care se găsesc în cantitate mai mare în cenușă.

Prin metode chimice foarte sensibile și analize spectrale s-a putut stabili că în compoziția materiei vii a celulelor plantelor se mai găsesc aproximativ 52 de elemente minerale, în afară de cele trecute în tabel, însă în cantități foarte mici sau de urme. Dintre acestea menționăm: borul, zincul, cuprul, manganul, aluminiul, fluorul, titanul,nikelul, cobaltul, arseniul, bromul, iodul, rubidiul, cesiul, litiul, stronțiul, bariul, wanadiul, cromul, molibdenul, staniul, plumbul, aurul, argintul, bismutul, galiul, germanium, gluciniul, tungstenul, uraniul, radiul, actiniul etc.

Unele dintre aceste elemente se găsesc în mod constant: borul, manganul, cuprul, aluminiul, zincul, fluorul, titaniul, nikelul și cobaltul, în cantități foarte mici. Celelalte elemente se găsesc neconstant, cu excepția elementelor radioactive (radiul, uraniul, actiniul) ca urme sau impurități.

Academicianul Vernadski (1929) a alcătuit un tabel în care enumeră procentual, toate elementele care intră în compoziția materiei vii. Elementele sînt așezate după decade, adică în ordine descrescîndă, după proporția în care intră în alcătuirea materiei vii. Vernadski a grupat aceste elemente în 14 decade, cum se poate vedea din tabelul nr. 2.

Gruparea elementelor minerale în decade după Vernadski (din Maximov)

Tabel nr. 2.

Decada	Procente din greutate	Denumirea elementelor	Decada	Procente din greutate	Denumirea elementelor
I	10^{1}	O, H	V	$1 \cdot^{-3}$	Mn, B. Sr,
II	10^{0}	C	VI	10^{-4}	Cu, Ti, Zn, Zi Ba, Br
III	10^{-1}	P, Si, K, Ca, N	VII	10^{-5}	F. Rb, Sn, Ni
IV	10^{-2}	S, Mg, Fe, Na, Cl, Al	VIII	10^{-6}	As, Mo, Co, J
			IX	10^{-12}	Ge, Pb, Hg, Ag, Au, Ra.

Din tabel se poate constata că în primele 4 decade intră elementele O, H ,C, N, care prin arderea plantei se volatilizează și elemntele P, Si, K, Ca, S, Mg, Fe, Na, Cl și Al, care se găsesc în cantitate mai mare, în cenușă. Deoarece aceste elemente sînt folosite de către plante în alcătuirea corpului lor, în proporție de 0,01% pînă la 10%, au primit denumirea de *macroelemente*. Elementele din decadele V, VI și VII, întrucît sînt

folosite în proporția de 0,001—0,00001%, au primit denumirea de *microelemente*. În această grupă poate fi trecut și fierul, Al și siliciul, (din grupa macroelementelor), deoarece aceste elemente numai la un număr restrîns de plante se găsesc în cantitate mai mare. La marea majoritate a plantelor, aceste elemente se găsesc în cantități foarte mici. În ultimele decade se găsesc elementele care intră în compoziția organismelor în cantități infime, de urme nedozabile. Aceste elemente au primit denumirea de *ultramicroelemente*. Dintre acestea pentru viața plantelor foarte importante sînt elementele radioactive.

Precizăm că oricît de minuțioase ar fi analizele privitoare la compoziția chimică a cenușelor, ele nu ne arată decît prezența diferitelor elemente și proporția în care se găsesc. Ele nu ne dau nici un indiciu sigur asupra necesității lor și nici asupra valorii combinațiilor în care se găsesc.

Apreciind conținutul procentual în fier, fosfor și potasiu în raport de conținutul în siliciu pentru grîu și porumb, putem trage concluzii greșite asupra necesității acestor elemente pentru plantele respective. Același lucru este valabil și pentru alte elemente, care se găsesc, unele în cantități foarte mici în unele plante sau organe, altele în cantități mari.

Fierul de ex., care de regulă se găsește în cantități mici sau foarte mici ,este absolut necesar plantelor. Clorul și sodiul, care poate lipsi din unele organe sau plante, este absolut necesar altora (halofitelor), care le acumulează în cantități mari. De aici rezultă că acumularea sau lipsa unui element dintr-o plantă nu poate constitui un indiciu după care să stabilim necesitatea elementelor minerale în viața plantei.

Din această cauză s-a renunțat la stabilirea necesității elementelor minerale prin metoda analitică și s-a adoptat metoda sintetică, care constă din culturi de plante pe medii nutritive artificiale.

b) Metoda sintetică

Încă de pe la începutul secolului al XIX-lea s-au elaborat metode pentru crearea de medii nutritive artificiale, cu ajutorul cărora să se poată studia necesitatea elementelor minerale prezente în cenușă. La început s-au folosit ca medii nutritive artificiale nisip cvarțos spălat și calcinat, pentru a se îndepărta orice urmă de substanță organică, mărgele de sticlă, bucăți de platină ș.a. Acest substrat numit, *„sol artificial“* era udat cu soluții apoase alcătuite din amestecul diferitelor substanțe minerale care se găsesc în cenușă.

După primele încercări cu aceste medii, în special cu nisip și mărgele de sticlă s-a constatat că plantele conțineau, cu toate precauțiunile luate o cantitate mai mare de substanțe decît li s-a administrat prin soluție. De aici concluzia că nisipul, mărgelele de sticlă, sub acțiunea combinată a apei și a bioxidului de carbon, eliberează anumite cantități de elemente (siliciu, potasiu, calciu și magneziu). Totuși aceste încercări au stabilit un fapt sigur și anume că elementele minerale, ce se găsesc în cenușa plantelor în cantitate mai mare și în mod regulat sînt necesare creșterii și dezvoltării plantelor superioare. Aceste încercări au scos în evidență și rolul indiscutabil al elementelor minerale.

Scanned with OKEN Scanner

Metoda solului artificial a fost înlocuită apoi prin alta mult îmbunătățită: aceea a cultivării plantelor pe soluții nutritive apoase, cu o compoziție chimică bine cunoscută.

Pe această cale se pot obține date precise asupra valorii fiziologice a fiecărui element separat.

Pe la 1860 fiziologii Sachs și Knop, independent unul de altul, au făcut soluții nutritive pentru cultura plantelor verzi, iar ulterior Krone, Hellriegel, Prianișnikov și alții.

În componența acestor soluții nu intră substanțe organice, deoarece plantele verzi își asimilează singure carbonul. Aceste soluții au compoziția următoare:

Soluția Sachs

Apă distilată . .	1000 cm.³
Azotat de potasiu . .	1 g
Sulfat de magneziu . .	0,5 g
Sulfat de calciu . . .	0,5 g
Fosfat tricalcic . . .	0,5 g
Clorură de sodiu . . .	0,5 g
Sulfat de fier	0,1 g

Soluția Knop

Apă distilată . . .	1000 cm³
Azotat de Ca	1 g
Azotat de K	0,25 g
Fosfat monopotasic . .	0,25 g
Sulfat de Mg. . . .	0,25 g
Fosfat de Fe	urme

Soluția Krone

Apă distilată . .	1000 cm.³
Azotat de potasiu . .	1 g
Sulfat de calciu. . .	0,5 g
Sulfat de magneziu. .	0,25 g
Fosfat de fier. . . .	0,25 g

Soluția Hellriegel

Apă distilată . .	1000 cm³
Azotat de Ca	0,492 g
Fosfat monopotasic .	0,060 g
Sulfat de Mg . . .	0,075 g
Clorură de K . .	0,075 g
Clorură de Fe	urme

Soluția Knop a fost preparată pentru hamei, cea a lui Krone și Hellriegel, pentru porumb. Cea mai simplă soluție este a lui Knop, ea cuprinzînd numai 7 elemente nutritive: N. P, S, K, Ca, Mg și Fe. Sărurile folosite din soluția Knop și Hellriegel sînt toate solubile în apă și unele au reacție fiziologic acidă, iar altele reacție fiziologic bazică. La soluția Sachs și Krone, este caracteristic faptul că unele din săruri sînt insolubile sau aproape insolubile în apă și se solubilizează numai pe măsură ce sînt consumate de către plante. Dintre aceste soluții cea mai bună și potrivită pentru cultura plantelor este aceea a lui Knop.

O soluție nutritivă bună este și aceea a lui Prianișnikov.

Soluția Prianișnikov

Apă distilată	1000 cm.³
Azotat de amoniu.	0,240 g
Fosfat acid de calciu	0,172 g
Clorură de potasiu	0,160 g
Sulfat de magneziu	0,060 g
Sulfat de calciu	0,344 g
Clorură ferică	0,025 g

Soluția Prianișnikov se pretează pentru culturi de plante pe substrat de nisip. Această soluție a fost preparată pentru porumb.

Culturile în soluție nutritivă se execută de obicei în vase de sticlă specială sau din sticlă obișnuită însă parafinate pe dinăuntru, care se pot închide cu un dop de plută, ce este străbătut de unul sau mai multe orificii (depinde de planta ce se cultivă), prin care se introduce rădăcina plantei în soluție. (Fig. 15).

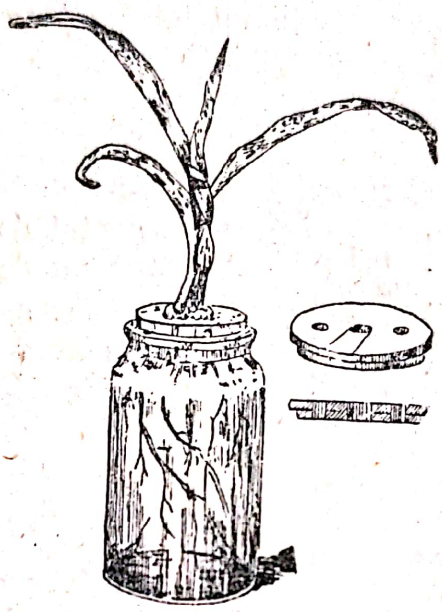


Fig. 15. Plantă de porumb cultivată în soluție nutritivă. (Din Skazkin).

Vasele de sticlă se acopăr cu hîrtie sau pînză neagră, pentru a se feri rădăcinele de influența nefavorabilă a luminii și pentru a se împiedica formarea lagelor verzi în soluție.

În timpul cît plantele cresc se iau măsuri de aerisire a soluțiilor nutritive, de corectarea reacției soluției, care trebuie să fie aproape de neutră sau slab acidă.

În timp ce plantele cresc, reacția soluției nutritive se schimbă, din cauză că plantele nu absorb anionii și cationii sărurilor în proporție egală. Cînd plantele absorb mai mult anionii, soluția nutritivă se alcalinizează, datorită predominării în aceasta a cationilor, iar cînd absorb mai mult cationii, soluția nutritivă se acidifică din cauza predominării anionilor.

Acest fapt influențează în rău creșterea și dezvoltarea plantelor.

Pe baza acestor constatări s-a ajuns la clasificarea sărurilor în: fiziologic acide, fiziologic bazice și fiziologic neutre. O sare fiziologic acidă este $(NH_4)_2SO_4$. Din această sare planta absoarbe într-o măsură mai mare cationul NH_4. Ca urmare în soluție se acumulează anioni de SO_4, care la o anumită concentrație devin toxici pentru plantă. Dintre sărurile fiziologic bazice face parte azotatul de calciu. Planta din această sare absoarbe într-o măsură mai mare anionul NO_3, decît cationul Ca

ionul Ca^+ acumulîndu-se în soluție o alcalinează. Peste o anumită concentrație calciul devine toxic pentru plante. Ca sare fiziologic neutră amintim NH_4NO_3, component al soluției nutritive Prianișnikov. Din această sare planta absoarbe cam în aceiași proporție atît cationul cît și anionul.

Fig. 16. Simplu aparat pentru curgerea continuă a soluției. Soluția proaspătă curge de la borcanul A prin tubul de sticlă t la borcanul B cu planta. Excesul de soluție se scurge în borcanul C prin tubul de sticlă. (După Nelson).

Acțiunea vătămătoare a modificării reacției soluției se înlătură prin schimbarea periodică a soluției nutritive (la 8-10 zile) sau prin aranjarea culturii cu soluții nutritive care curg. (Fig. 16). În cazul culturilor pe substrat de nisip, aciditatea se înlătură prin adăugarea unei cantități

corespunzătoare de cretă sau marnă, iar alcalinitatea prin adăugarea cîtorva picături de acid fosforic.

Elementele care intră în compoziția soluțiilor nutritive sînt absolut necesare pentru creșterea și dezvoltarea plantelor. Ele nu se pot înlocui prin nici un alt element din grupa lor. Numai în cazuri rare s-a putut constata că elementul K poate fi înlocuit, dar parțial, prin elementul Na.

Aceasta înseamnă că excluderea chiar a unui singur element are ca urmare oprirea creșterii și dezvoltării și în cele din urmă moartea plantei.

Figura Nr. 17 ilustrează sugestiv, cît de mare deosebire este între creșterea plantei de porumb crescută pe soluție minerală nutritivă și a plantei crescută pe o soluție minerală din care lipsește numai un singur element. În acest caz este indiferent care anume din elemente lipsește, căci toate sînt necesare. De pildă, porumbul cultivat pe soluție minerală din care lipsește fierul, este aproape tot așa de viguros ca și martorul,

Fig. 17. Efectul suprimării diferitelor elemente conținute în soluția Sachs asupra creșterii porumbului.
a = în soluție completă (martoră); b = fără fier; c = fără magneziu; d = fără fosfor; e = fără azot; f = fără calciu; g = fără potasiu; h = în apă distilată.
(Din Guilliermond).

însă el este clorotic. Frunzele sale sînt de culoare gălbuie sau albă, pentrucă ele nu formează pigment verde clorofilă. Dacă plantele nu primesc fier se usucă și mor. Porumbul cultivat pe soluții minerale din care lipsesc alte elemente nutritive își încetează creșterea.

N. A. Maximov (1948), arată că într-o experiență făcută cu hrișcă, s-au obținut rezultatele următoare: În soluția completă, greutatea plantei

a întrecut greutatea seminței de 138 ori; în soluția fără K de 9 ori, în soluția fără Ca de 1,3 ori, în soluția fără Mg de 5,1 ori, iar în cea fără Fe de 7,3 ori.

Ar fi o greșeală, spune Maximov, ca din aceste date să se tragă concluzia că lipsa unor elemente (de ex. a potasiului, fierului), care produce o inhibare mai mică a recoltei, n-ar avea consecințe prea mari asupra plantei, că aceste elemente ar fi mai puțin necesare decît celelalte elemente.

Creșterea greutății plantei observată în aceste condițiuni depinde de prezența în embrionul și albumenul seminței a unei rezerve mai mari sau mai mici a acestor elemente suprimate din soluția nutritivă.

Timp de zeci de ani cercetătorii au cultivat plante agricole (porumb, hrișcă, mazăre, lupin, tutun, diverse cereale, și altele) în astfel de soluții nutritive, alcătuite numai din 6-7 elemente minerale, care păreau că asigură creșterea și dezvoltarea normală a plantelor. Se părea că pe baza rezultatelor acumulate în aceste experiențe, că celelalte elemente din cenușă, și anume Na, Cl, Si, care se găsesc deasemenea în cantitate relativ mare în cenușa plantelor, ar fi inutile. Această părere, astăzi nu mai este împărtășită. S-a dovedit că Na și Cl sînt necesare plantelor care cresc pe soluri sărate, că siliciul este necesar diatomeelor, equisetaceelor și gramineelor.

Însă experiențele din ultima vreme au mai dovedit că pentru creșterea și dezvoltarea plantelor, mai sînt necesare și alte elemente, care aparțin grupei microelementelor și anume: B, Mn, Zn, Al, Mo, I, iar pentru unele plante și altele.

S-a mai stabilit că sînt absolut necesare și ultramicroelementele: radiul, uraniul, actinul, rubidiul, care de fapt se găsesc în toate plantele, indiferent de locul unde cresc.

Dacă cercetătorii au obținut plante cu creștere și dezvoltare normală numai cu 6-7 elemente minerale, aceasta s-a datorat faptului că sărurile folosite la prepararea soluțiilor nutritive, conțineau urme de microelemente.

Cultivîndu-se plante pe soluții nutritive alcătuite numai din săruri pur chimice, care să nu conțină nici o urmă de microelemente, plantele nu cresc și nu se dezvoltă normal, ele prezintă simptome de îmbolnăvire, se usucă și mor. Necesitatea microelementelor în nutriția plantelor a fost dovedită pentru prima dată de către *Raulin* (1870). El a dovedit necesitatea microelementului Zn, pentru miceliile de Aspergillus exceptînd fierul și siliciul care ocupă din punct de vedere cantitativ o poziție intermediară între macro și microelemente și a căror necesitate a fost dovedită la plantele verzi.

La alcătuirea mediului nutritiv, Raulin a folosit substanțe ce cuprind 11 elemente chimice, printre care este și carbonul întrucît ciuperca nefiind plantă verde, nu și-l poate procura din aer.

Soluția nutritivă Raulin.

		Elemente
Apă distilată . .	1500 cm. c.	H și O
Zahăr candel . .	70 g	C
Acid tartric . .	70 g	C
Azotat de amoniu .	4 g	N
Carbonat de potasiu .	0,60 g	K
Fosfat de amoniu .	0,60 g	P
Carbonat de magneziu .	0,40 g	Mg
Sulfat de amoniu .	0,25 g	S
Sulfat de zinc . .	0,07 8	Zn
Silicat de potasiu .	0,07 g	Si
Sulfat de fier . .	0;07 g	Fe

În astfel de soluție Raulin, a obținut întotdeauna cantitatea de 25 g miceliu de Aspergillus, timp de 6 zile la temperatura de 35°C. Acest cercetător a stabilit și valoarea fiziologică a fiecăruia din aceste elemente, suprimînd pe rînd cîte unul din compoziția soluției nutritive și determinînd producția miceliului rezultat. Raulin găsește că în lipsa carbonului nu se formează de loc miceliu. În lipsa fosforului producția de miceliu scade cu 0,5% față de martor, cultivat în soluție completă. În lipsa azotului producția miceliului scade cu 0,6%, a magneziului cu 1,1%, a potasiului cu 4% și a sulfului cu 4,5%. În lipsa fierului, zincului și siliciului producția scade și mai mult. De ex. în lipsa zincului scade cu 10%, a fierului cu 37%, iar a siliciului cu 71%.

Aceste date au constituit punctul de plecare pentru stabilirea necesității microelementelor și la plantele superioare. În această privință importante sînt cercetările lui Mazé (1915), care a arătat necesitatea manganului și zincului, apoi ale altor cercetători care au arătat și necesitatea borului, cuprului, molibdenului etc.

G. Bertrand (1920) a adus contribuții însemnate la identificarea microelementelor în țesuturile vegetale și în lămurirea rolului lor fiziologic.

Astăzi pentru creșterea plantelor pe soluții nutritive se adaugă în mod obișnuit soluțiilor nutritive clasice și o cantitate mică dintr-o soluție, care conține microelemente. O astfel de soluție, preparată de Hoagland, conține la 18 litri de apă distilată următoarele substanțe:

0,5 g $LiCl$	11,0 g H_3BO_3	7,0 g $MnCl_2$
1,0 g $CuSO_4$	1,0 g $Al_2(SO_4)_3$	1,0 g $NiSO_4$
1,0 g $ZnSO_4$	0,5 g $SnCl_2$	1,0 g $Co(NO_3)_2$
1,0 g TiO_2	0,5 g KI	0,5 g KBr

Din această soluție, dacă se adaugă numai 1 cm. c. la soluția nutritivă obișnuită, plantele cresc și se dezvoltă bine. Plantele acumulează

o cantitate mare de substanță uscată. Pentru mazăre s-a obținut un spor de recoltă de 69%, pentru sfecla de zahăr de 200-300%, iar pentru tutun de 100-180%. Microelementele nu se dau de la începutul vegetației ci mai tîrziu, întrucît în mod normal ele se găsesc în semințe în cantitate suficientă și deci pot asigura pentru o perioadă de timp nevoile plantelor.

Pentru creșterea plantelor în condiții de seră sau cameră, soluțiile nutritive trebuie să conțină deasemenea microelemente, indiferent dacă se fac culturi de plante pentru nevoile populației sau lucrări de cercetare științifică. O soluție bună pentru cultura plantelor în seră sau cameră, este aceea a lui A. A. Novoselov.

Apă	100 litri
$Ca(NO_3)_2$ sau KNO_3	70 g
NH_4NO_3	8 g
$K H_2PO_4$ sau $Ca(PO_4H_2)_2$	14 g
K_2SO_4	18 g
$Mg SO_4$	12 g
Citrat de fier și de amoniu	8 g
H_3BO_3	0,4 g
$MnSO_4$	0,6 g

Pentru reușita culturilor este necesar să se țină seama de anumite particularități. În sere, plantele se pot cultiva în tot timpul anului, în cameră însă nu, căci plantele n-au lumină suficientă. De aceea trebuie să se folosească plante mai puțin pretențioase. Mai este și un alt inconvenient. În camere atmosfera este puțin umedă și de aceea plantele trebuie zilnic stropite.

În sere, creșterea plantelor se poate face în bazine special amenajate: în jghiaburi fixe de tablă sau transportabile, în vase de sticlă sau de tablă emailată. Cînd, se fac culturi de plante în vase de sticlă, la început se pot folosi vase cu capacitate mică de 0,3—0,5 litri (pînă la înflorire). După înflorire se folosesc vase cu capacitatea de 3-5 litri și înalte de 12-15 cm, pentruca rădăcinile să atingă fundul vasului unde precipită unele săruri.

Fixarea plantei cu rădăcinele în soluția nutritivă se face diferit, în raport cu natura plantei cultivate. Cînd se cultivă plantele în jghiaburi sau bazine, se așează un grilaj de lemn sau de sîrmă, peste care se pune un substrat format din mușchi care se udă cu soluția nutritivă (20 g la m.p.).

Plantele se așează în mușchi pînă la cotiledoane. Se pot folosi și ghivece de flori, cu diametrul de 5-8 cm, care au fundul prevăzut cu mai multe găuri a căror diametru să fie de cel puțin 1 cm, pentru a lăsa să treacă rădăcinile. Pe fundul ghivecelor se așează un tifon, iar peste tifon nisip cvarțos sau rumeguș. Se așează semințele cu embrionul în jos și se udă cu apă. După încolțire ghivecele cu plantulele se așează la lumină, pentru a se evita etiolarea. Cînd rădăcinele plantelor apar în orificiile din fundul ghiveciului, alimentarea plantelor nu se mai face cu apă, ci cu o soluție nutritivă a cărei concentrație este de două ori mai slabă decît se folosește obișnuit. Pe măsură ce rădăcinile cresc, ghiveciul cu plantulele, se suspendă deasupra unui capac de lemn, în așa fel ca între fundul ghiveciului și soluția nutritivă să rămînă un

spațiu de aerisire de 3-5 cm. Fixarea plantei se mai poate face prin suspendarea deasupra soluției nutritive pe un capac de lemn prevăzut cu orificii. Printr-un orificiu se introduce rădăcina plantulei, în soluția nutritivă, iar prin altul un arac. În cazul acesta tulpina care trece prin orificiu se înfășoară cu vată.

Alimentarea plantelor se poate face cu un singur amestec nutritiv sau cu mai multe amestecuri, care se schimbă alternativ în cursul perioadei de vegetație. Cînd se folosesc mai multe amestecuri planta ajunge mai repede la fructificare.

Este bine ca soluțiile nutritive să se prepare separat pentru fiecare sare din amestec, și să se amestece între ele cu puțin înainte de schimbare .Sărurile de sulfat de mangan, de sulfat de magneziu și acidul boric se pot amesteca dinainte.

Soluțiile de citrat de amoniu și de fier trebuie păstrate în sticle brune. Soluțiile se pregătesc cu apă obișnuită, care să nu fie bogată în carbonat de calciu.

În timpul vegetației se adaugă zilnic apă proaspătă în locul celei evaporate sau pierdute prin transpirație. Apa care se adaugă trebuie să aibă temperatura camerei. Pentru asigurarea plantelor cu aer, în afară de spațiul lăsat între fundul ghiveciului și suprafața soluției, se mai introduce aer cu pompa (suflător).

Metoda aceasta este răspîndită în multe țări și ea permite să se obțină plante cu creștere și dezvoltare normală.

Echilibrarea fiziologică a soluțiilor nutritive. Antagonismul Ionilor

Soluțiile nutritive alcătuite din amestecuri de săruri, sînt fiziologic echilibrate. Ionii diferitelor elemente se găsesc în astfel de raporturi între ei, încît soluția nu este toxică, ci convine cel mai bine pentru creșterea și dezvoltarea plantei. Dacă ionii nu se găsesc în anumite raporturi, soluția nutritivă este toxică pentru plantă. Motivul este următorul: elementele minerale nutritive, în special cationii, luate în parte sînt toxice, date însă în amestec ele își anihilează toxicitatea. Dăm un exemplu. Într-o experiență, făcută de Osterhout cu grîu, cultivat pe soluții alcătuite dintr-o singură sare, o clorură, germinația semințelor s-a produs cu intensități diferite. Datele obținute sînt trecute în tabelul Nr. 3.

Influența soluției dintr-o singură sare asupra creșterii rădăcinii de grîu

Tabel nr. 3.

Planta	Substanța minerală folosită	Concentrația soluției	Lungimea rădăcinioarei în mm
Grîu	KCl	0,12 N	68
	NaCl	0,12 N	59
	$CaCl_2$	0,12 N	70
	$MgCl_2$	9,12 N	7

Scanned with OKEN Scanner

Se constată din tabel că soluția de clorură de magnezlu frînează în măsura cea mai mare creșterea rădăcinioarei, este deci toxică. Dacă primele trei soluții se amestecă, lungimea rădăcinelor atinge 324 de mm. Prin adăugarea și a soluției de clorură de magneziu lungimea rădăcinelor atinge 360 mm. Se deduce din această experiență că nu anionul Cl, este toxic, ci cationii K, Na, Ca și Mg. Fiecare cation luat în parte este toxic, însă toxicitatea fiecăruia diferă. Dacă la un cation se adaugă un altul toxicitatea primului se micșorează.

Intr-un amestec de mai multe săruri cationii își anihilează toxicitatea, dacă bine înțeles cationii se găsesc în anumite raporturi. Pentru fiecare grupă de plante trebuie să existe un anumit raport între cationi, dar mai ales între cationii de Ca și cei de Mg. Acest raport dintre cei doi cationi $\left(\frac{Ca}{Mg}\right)$ este bine cunoscut numai la cereale, crucifere, leguminoase și tutun. Pentru cereale este egal cu 1, pentru crucifere cu 2, pentru leguminoase cu 3, iar pentru tutun cu 4.

La alcătuirea soluțiilor nutritive va trebui să se țină seama întotdeauna de valența cationilor. In general cu cît este mai mare valența, cu atît va trebui să fie mai scăzută concentrația relativă a cationului dat. Intr-o soluție echilibrată raportul dintre concentrația cationilor monovalenți și a celor bivalenți trebuie să fie egală aproximativ cu $\frac{10}{1}$. Insă trebuie de avut în vedere că mărimea concentrației cationilor în soluțiile echilibrate mai este determinată și de particularitățile specifice ale cationului. Acesta este și cazul cationului H, care în concentrații de 0,0001 N, se dovedește un factor esențial al nutriției minerale. Cercetările arată că acțiunea toxică a altor cationi se manifestă la concentrații ce pot întrece de sute de mii de ori mărimea corespunzătoare pentru cationul de H. De aceea, cînd se fac soluțiile nutritive trebuie luată în considerare și acțiunea reciprocă antagonistă dintre cationul de H și ceilalți cationi.

Cationul hidrogen poate anihila acțiunea toxică a cationului de Ca, în soluțiile echilibrate, în cantități de sute de ori mai mici decît acelea ale calciului.

Concentrația soluției nutritive în timpul creșterii și dezvoltării plantelor

Așa cum sînt date soluțiile nutritive, după un cercetător sau altul, au întotdeauna aceeași concentrație, ce nu depășește 2 grame săruri în litrul de apă, deci o concentrație foarte apropiată de aceea a soluției solului, care natural este fiziologic echilibrată. De aici rezultă că plantele au o nutriție uniformă în tot cursul perioadei de vegetație. Se știe însă că regimul de nutriție se schimbă de la plantă la plantă și chiar la aceeași plantă în cursul vegetației în raport cu vîrsta, fazele de creștere și stadiile de dezvoltare. Plantele, la începutul vegetației, consumă o cantitate mică de substanțe minerale din soluția nutritivă. Ulterior, cînd se găsesc în faza înfloririi și fructificării consumă o cantitate mai mare de săruri din soluția nutritivă. De aceia este necesar să se folosească la început soluții cu concentrații mai mici, apoi mai mari. Concentrația

mare a soluției la începutul vegetației are o influență dăunătoare asupra absorbției substanțelor nutritive. Concentrația mare a soluției determină o acumulare mai mare a azotului în plante și mai puțin a potasiului și fosforului.

Ca urmare presiunea osmotică a soluției crește și absorbția este astfel îngreuiată. Planta crește slab și manifestă semne xerofitice. Odată cu înaintarea plantelor în vîrstă, influența dăunătoare a concentrației se micșorează și poate chiar să dispară, transformîndu-se în una pozitivă. De aici concluzia practică pentru administrarea îngrășămintelor solului. Înainte de semănat trebuie să se dea cantități mai mici de îngrășăminte, iar mai tîrziu, după cîtva timp de la răsărire, cantități mai mari.

Determinarea cu precizie a concentrației celei mai potrivite a soluției nutritive, pentru fiecare plantă, nu este ușor de realizat. Totuși, în această privință, sînt date privitoare la concentrația optimă de săruri, ce trebuie să aibă o soluție nutritivă, în cursul perioadei de vegetație. În tabelul Nr. 4 sînt trecute datele obținute de Jurbițki, pentru cîteva plante de cultură.

Concentrația optimă în săruri în milimoli la 1 kg soluție

Tabel nr. 4.

Planta	Inainte de semănat sau plantat	In stare matură (în timpul vegetației)
Morcov	2	—
Ceapă	3	6
Castraveți	4	6
Varză	6	10
Pătlăgele roșii	6	14
Sfeclă	12	30

Aceste date pot servi pentru plantele respective la stabilirea mărimei dozelor de îngrășăminte, în cursul vegetației, însă trebuie să se mai țină seama și de toxicitatea sărurilor.

Rolul fiziologic al diferitelor elemente minerale după participarea lor în sistemele funcționale din celulă

Elemente cu rol plastic și elemente cu rol regulator în procesele celulare.

Dintre elementele chimice evidențiate în corpul plantelor, volatile și nevolatile, unele servesc ca material de construcție al corpului plantei și a masei materiei vii, altele îndeplinesc diferite roluri în procesele vitale ale plantelor. Din punct de vedere fiziologic, elementele se pot împărți în trei grupe, după sursa de aprovizionare a plantei: elemente obținute de plantă din apă (oxigenul și hidrogenul) elemente obținute din atmosferă (carbonul și de asemenea oxigenul) și elemente obținute din sol (azotul și elementele cenușii). Există însă și un alt criteriu de clasificare a elementelor după natura lor chimică. Avem grupa *metaloizilor*

în care intră elementele C, H, O, N, S, P, necesare pentru plantă în cantități importante, apoi Si, Cl, B, și altele. Aceste elemente ajung în plantă sub formă de *anioni* ai sărurilor corespunzătoare.

În cealaltă grupă intră metalele K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu, Mn, și altele, care pătrund în plantă sub formă de *cationi*. Elementele din cele două grupe se deosebesc fundamental unele de altele în ce privește funcțiunea lor fiziologică în celulă. Anionii sînt absolut necesari pentru alcătuirea moleculelor substanțelor proteice, care alcătuiesc materia vie și a altor molecule de substanțe organice, deci au un *rol plastic*. Cationii spre deosebire de anioni, deoarece se găsesc în plantă în stare liberă sau slab legată, îndeplinesc un *rol regulator*, în procesele vitale din plantă. În amestec cationii participă la menținerea și modificarea stabilității sistemelor coloidale din protoplasmă, determină trecerea reversibilă de la zol $\rightleftarrows$ gel cu etape de coacervat, determină precipitările reversibile și ireversibile, creează posibilitatea apariției structurilor protoplasmatice, a curenților protoplasmatici, a separării peliculelor membranoase protoplasmatice, diviziunea celulei, menținerea presiunii osmotice necesară pentru aprovizionarea celulei cu apă și la autoregularea tonicității sucului celular. De asemenea cationii îndeplinesc un rol tampon, asigurînd menținerea reacțiunii (pH) sucului celular etc.

Trebuie de avut în vedere că această împărțire a celor două categorii de ioni (cu rol plastic și regulator) nu are o valoare absolută și aceasta pentru motivul că unii cationi, cum sînt cei de Mg, Fe, Zn, Cu pot să apară și ei ca adevărate elemente cu rol plastic, dînd naștere la combinații organo-metalice. De ex. magneziul intră în molecula clorofilei, celelalte elemente în molecula diferitelor enzime. De aceia, în parte cel puțin, unii cationi, sînt substanțe plastice.

Pe de altă parte și unii dintre anioni, cum este de pildă, cel de fosfor, se pot găsi sub formă anorganică. În frunze, fosforul se găsește în proporție de 50% sub formă de acid fosforic liber. Acest element intră așa dar, atît în grupa elementelor cu rol plastic, nutritiv, cît și în grupa elementelor cu rol regulator.

În linii generale, această împărțire a elementelor, este bună, însă aprecierea rolului lor fiziologic se poate înțelege mai bine, după participarea lor în sistemele funcționale din celulă.

Trebuie să subliniem că nu dispunem, mai ales pentru unele elemente, de cunoștințe suficiente asupra rolului lor fiziologic în celulă, însă datele pe care le avem, ne dau posibilitatea să cunoaștem cel puțin în parte efectul lor fiziologic.

Cunoașterea rolului fiziologic specific al diferitelor elemente minerale, este una dintre problemele cele mai importante a fiziologiei, deoarece ne dă posibilitatea să intervenim în metabolismul plantei, prin aplicarea de îngrășăminte, în raport cu cerințele fiecăreia.

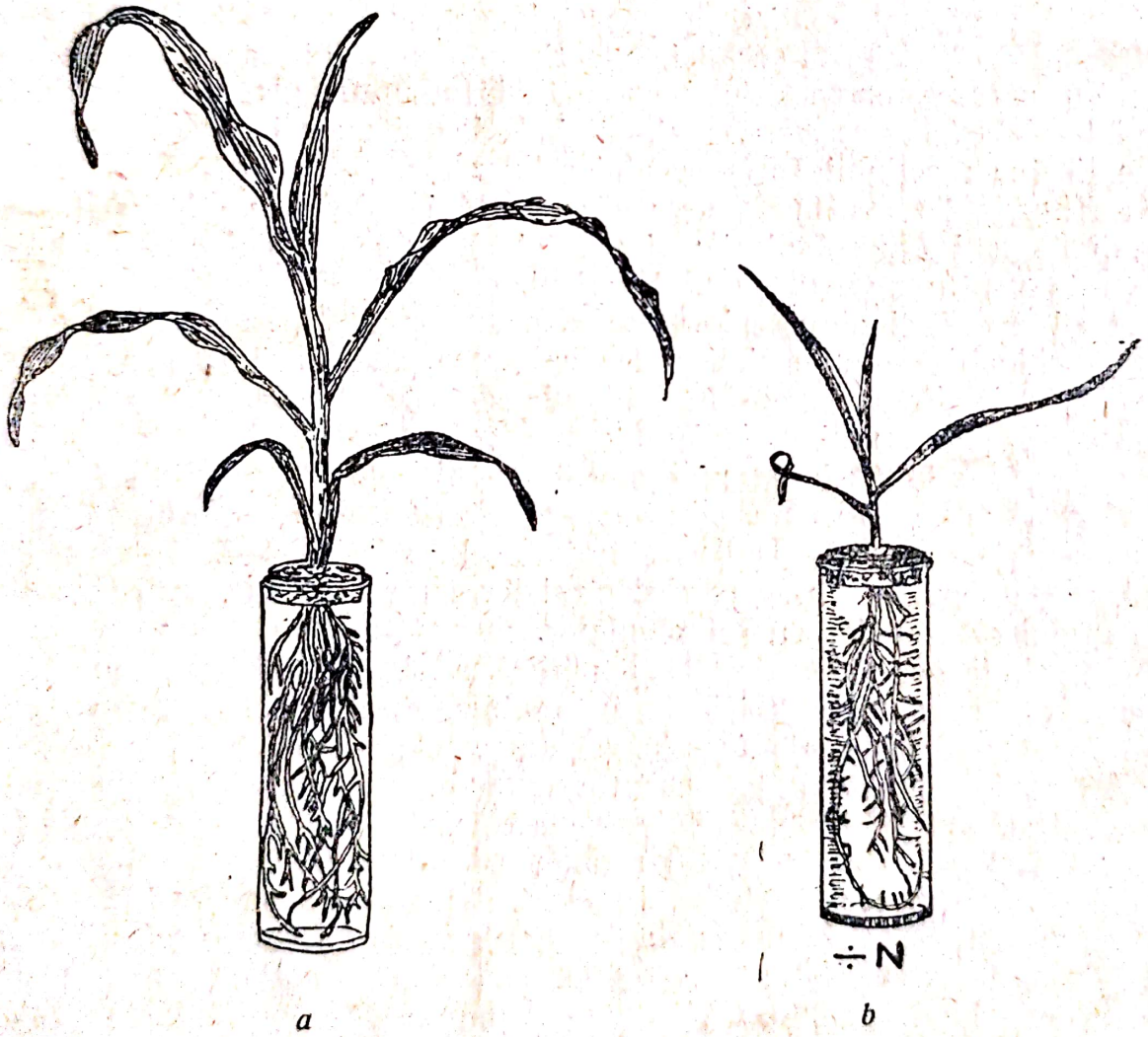
Vom expune succesiv rolul fiziologic specific, mai întîi al anionilor și apoi al cationilor.

Scanned with OKEN Scanner

Rolul fiziologic specific al anionilor și bolile fiziologice provocate de insuficiența sau excesul lor în corpul plantei

Azotul. Element fundamental al nutriției minerale. Plantele îl asimilează atît sub formă de anioni NO_3, NO_2 cît și sub formă de cation NH_4. Importanța sa constă în aceea că intră în alcătuirea amino-acizilor din care sînt alcătuite moleculele complexe ale proteinelor, a acizilor nucleici, a lecitinei, a clorofilei, a citocromului, alcoloizi și unele hetorozide. Luînd în considerare numai cele amintite aici, putem preciza că fără azot nici nu se poate concepe organizarea materiei vii. Creșterea și dezvoltarea depinde de metabolismul azotului.

Insuficiența acestui element din nutriția plantei se traduce în primul rînd prin oprirea creșterii plantei și modificarea culorii frunzelor. (Fig. 18 a, b). Carența acestui element la plante este foarte des întîlnită.



a *b*

Fig. 18 a, b. Plantă de porumb crescută în soluție Knop completă (a) și în soluție fără azot (b).

Cercetările lui O. P. Osipova și I. V. Timofeeva (1951), arată că frunzele plantelor care duc lipsă de azot au cloroplaste mai sărace în proteine și clorofilă, dar mai bogate în amidon și lipide. După N. S. Avdonin

(1954), cerealele care duc lipsă de azot înfrățesc mai slab, la cartof, pătlăgelile roșii, se constată o cădere prematură a frunzelor bătrîne, frunzele care cresc rămîn mici. La sfecla de zahăr frunzele capătă o culoare deschisă. Fenomenul decolorării începe, mai întîi, la frunzele mai bătrîne etc.

Dar și excesul de azot, în nutriția minerală aduce modificări la plante. Plantele își dezvoltă un număr mare de frunze de culoare verde intensă, însă sînt subțiri și sensibile la boli. De asemenea excesul de azot duce la prelungirea perioadei de vegetație și la încetinirea ritmului de coacere a fructelor și lignificării.

O aprovizionare bună cu azot determină creșterea și dezvoltarea normală a plantei.

Efectul favorabil al azotului asupra recoltei, depinde însă de raportul reciproc cu alte elemente, în special cu fosforul și potasiul. De aceea problema asimilării azotului și a transformării sale, în corpul plantelor, va fi studiată mai în detaliu, după ce vom cunoaște rolul fiziologic al celorlalte elemente minerale.

Sulful. Este de asemenea un element indispensabil vieții plantelor ca și azotul. Plantele iau sulful prin rădăcinile lor din sulfați, sub formă de ioni SO_4^{--} Intrat în corpul plantei este redus în celule formîndu-se gruparea sulfhidrică — SH, care intră în molecula amino-acizilor sulfurați (cistină, glutation, metionină). În metabolismul plantei sulful joacă un rol activ prin funcția de *thiol* a amino-acizilor amintiți în procesele de oxico-reducere a respirației. Astfel Cristina $\rightleftarrows$ cisteină, prin adiție de hidrogen.

Sulful intră și în compoziția uleiurilor thioleterice: ca ester izothiocianic $CS{:}N(C_3H_5)$ în semințele de muștar sau în usturoi, hrean, și ca thioster $(C_3H_5(_2S$ în ceapă ș. a.

Există sulf și sub formă oxidată, în glucoproteide.

Sulful poate fi luat și din aer ca bioxid de sulf (SO_2), fapt ce a fost dovedit prin atomii marcați. Se găsește în plante și sub formă de combinații anorganice ($MgSO_4$, $CaSO_4$).

Sulful fixat sub formă de substanță organică, este eliberat în procesele de descompunere a acestora sub acțiunea unor microorganisme ca hidrogen sulfurat (H_2S), care apoi este oxidat de către sulfobacterii în acid sulfuric (H_2SO_4).

În timpul acestui circuit au loc și oarecari pierderi, determinate fie de spălarea sulfaților prin ape sau prin insolubilizarea parțială.

La germinarea semințelor, compușii sulfului sînt supuși oxidării pînă la formarea de sulfați, care apoi sînt folosiți din nou de către tinerele plante la formarea substanțelor proteice.

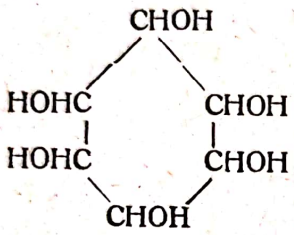
Insuficiența sulfului din nutriția plantei determină oprirea creșterii plantei. Frunzele se deschid la culoare, însă nervurile se îngălbenesc. Urmează apoi apariția de pete roșii, începînd de la baza frunzelor, care ulterior se necrozează. Aceste simptome apar mai întîi la frunzele situate în apropierea vîrfului vegetativ și apoi înaintează spre frunzele de la baza tulpinei plantei.

Fosforul. Este unul din elementele care se găsesc în mod constant în protoplasma celulelor plantelor. Ca și azotul și sulful, fosforul este un element absolut necesar vieții plantelor.

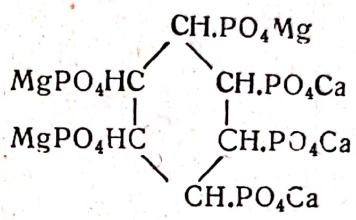
Scanned with OKEN Scanner

Punctele îl iau din sol sub formă de ioni PO_4.$^{---}$ Intrat în plante se combină cu diferiți radicali organici transformîndu-se într-o serie de combinațiuni organice fosforate complexe (fosfoproteide, nucleoproteide, lipoide fosforate), care intră în constituția tuturor celulelor (citoplasmă, nucleu). În lipoidele complexe fosforul se întîlnește în lecitină.

De asemenea fosforul se întîlnește în fitină, care se găsește în frunze, dar mai ales în semințele oleaginoaselor, ca rezervă nutritivă. Fitina este un ester al inositei, iar inosita are aceeași formulă ca și glucoza, însă este ciclică (ciclohexan) și nu are nici o funcție aldehidică. Are în schimb grupări alcoolice primare a căror oxidrili sînt esterificați cu acidul fosforic (H_3PO_4), iar grupările acide ale acidului fosforic sînt neutralizate prin calciu și magneziu, cum se constată din formula de mai jos.



Inosită



Fitină

Deci fitina este un inosid fosfat de calciu și magneziu.

Este foarte importantă pentru plante prin aceea că conține o cantitate mare de acid fosforic, calciu și magneziu sub formă asimilabilă. Ea constituie și un medicament prețios, deoarece fosforul, calciul și magneziul pe care îl conține este ușor asimilabil și de către organismul omului.

Fosforul se găsește și în granulele de amidon. Acidul fosforic din granulul de amidon e combinat pe de o parte cu moleculele glucozei, care intră în alcătuirea moleculelor de amidon, iar pe de altă parte oxidrilii rămași liberi sînt neutralizați cu calciu (grîu) sau potasiu (cartof).

Fosforul se mai găsește și în alte combinațiuni organice cum sînt mono- și dinucleotidele, esterii hexozo-fosforici.

În toate aceste combinațiuni organice fosforul intră sub formă oxidată (de acid fosforic), fapt ce se înțelege de la sine că el trece ușor sub forma minerală. Prin descompunerea resturilor vegetale, fosforul se eliberează sub formă de săruri anorganice, care pot fi din nou utilizate de către plante.

Însă fosforul se găsește în corpul plantelor și sub formă anorganică, ca săruri de calciu, potasiu, magneziu.

Rolul fosforului în metabolismul plantelor este foarte important. El participă la diferite procese enzimatice (sinteza lipidelor, zaharurilor, în procesul respirației), cînd intră în compoziția fosfaților de hexoză.

Influențează pozitiv fructificarea (cereale, legume, sfecle, vița de vie, cartofi). După Stoklasa are rol în formarea clorofilei. Împreună cu alte elemente minerale (K, Ca) mărește rezistența plantelor la boli, intemperii (ger, secetă).

Fosforul provoacă schimbarea potențialului oxido-reductor din plante și ajută la refacerea țesuturilor. Procesul diviziunii celulare și de formare a semințelor este legat de prezența fosforului.

Insuficiența lui duce la oprirea creșterii. Frunzele se răsucesc și pe ele apar pete violet roșcate. Semințele nu se mai formează. La varză insuficiența fosforului determină crăparea căpățînelor, la salată frunzele devin fragile etc.

Insuficiența fosforului se manifestă prin stimularea creșterii mugurilor vegetativi și slăbirea creșterii mugurilor de rod (pomii fructiferi). Frunzele rămîn mici, iar fructele cad prematur.

Fosforul, scurtează lungimea perioadei de vegetație, accelerează coacerea fructelor cu 6—7 zile.

O bună aprovizionare cu fosfor a plantelor mărește rezistența la ger împreună cu K, Ca și Mg. Cercetările lui N. S. Avdonin (1953) și ale lui S. Gericke arată că aprovizionarea plantelor cu fosfor în primele perioade de vegetație, determină stimularea creșterii rădăcinelor.

O bună aprovizionare a plantelor cu fosfor are ca urmare micșorarea cantității de apă necesară pentru producerea unei unități de substanță uscată. Experiențele I.C.A.R.-ului arată că și la un regim de apă scăzut, se obțin sporuri de recoltă prin mărirea dozelor de îngrășăminte fosfatică.

Clorul. Ionul clor, se află, cu unele excepții, în toate plantele, însă nu în cantități mari. Vechii fiziologi l-au considerat un element folositor, însă cercetările mai noi au arătat că nu-i folositor. Cultura plantelor în soluții minerale nutritive, a dovedit că unele plante pot crește normal în lipsa clorului, însă altele nu cresc normal De pildă Hrișca și sfeclele se dezvoltă slab dacă din soluția nutritivă lipsește clorul. La fel se dezvoltă slab și halofitele, care sînt adaptate să suporte concentrații mari de clorură de sodiu.

Deci, pentru unele plante pare să fie necesar. În acest caz rolul lui cel mai important ar fi menținerea și reglarea presiunii osmotice din celule.

Siliciul. Se găsește răspîndit în corpul tuturor plantelor, în cantități mici, cu excepția Gramineelor, Equisetaceelor, Cyperaceelor și Diatomeelor, în corpul cărora se găsește în cantitate mare. El pare să fie luat de către rădăcinele plantelor sub formă de acid silicic liber, care este solubil în apa încărcată cu acid carbonic. În plante de regulă se găsește localizat în membrana celulelor, însă probabil nu sub forma de SiO_2, întrucît poate fi ușor extras cu leșie de potasă caldă (de ex. din lemnul de stejar). La Graminee, Equisetacee, Cyperacee, se găsește ca bioxid de siliciu impregnînd membrana celulelor frunzelor și tulpinelor. Prin această acumulare, frunzele, tulpinele devin mai rigide, tari.

Multă vreme s-a crezut că acest element este numai folositor plantelor, avînd rolul de a întări scheletul tulpinelor plantelor în țesuturile cărora se acumulează în cantitate mare, împiedicînd astfel căderea lor.

Cercetările din ultimele două decenii, cultivîndu-se plante în soluții nutritive, au dovedit că în cantități foarte mici este absolut necesar creșterii și dezvoltării normale a plantelor. Pentru diatomee siliciul este la fel indispensabil.

Scanned with OKEN Scanner

În lipsa lui ele nu formează carapacea și mor. Rolul pe care îl îndeplinește însă este puțin cunoscut. Se știe doar atît că ajută la fenomenul de absorbție al fosforului, azotului, potasiului și magneziului, iar cînd se acumulează în cantitate mare în frunze, tulpini, împiedică atacul ruginelor.

Rolul fiziologic specific al cationilor din grupa macroelementelor și bolile fiziologice provocate de insuficiența sau excesul lor în corpul plantelor

Culturile artificiale, au dovedit că pentru o bună creștere și dezvoltare a plantelor, este necesară prezența unui anumit complex de cationi într-o anumită combinație complexă cu anionii. Diferiții cationi necesari plantelor îndeplinesc roluri fiziologice specifice și ei nu pot fi înlocuiți prin alți cationi, fie ei chiar din aceeași grupă.

Dacă ne referim numai la cîteva roluri, care sînt comune mai multor cationi, este suficient să ne dăm seama de importanța lor în viața plantelor.

Se știe că ei determină modificarea echilibrului electric din sistemele coloidale. Această modificare constă din mărirea sau micșorarea sarcinei electrice a particulelor. Ca urmare se mărește stabilitatea soluțiilor coloidale sau are loc precipitarea lor.

Experiențele arată că ionii monovalenți (K) și alții măresc în general gradul de hidratare a biocoloizilor. Prin aceasta vîscozitatea protoplasmei se micșorează. Ea capătă o mobilitate mai mare. Ionii bivalenți (de Ca^{++}) au o acțiune contrarie.

Ei micșorează gradul de hidratare a coloizilor din protoplasmă. Ca urmare viscozitatea protoplasmei se mărește. Mobilitatea protoplasmei se micșorează. O acțiune analogă au și ionii trivalenți (de Al^{+++}), însă acțiunea lor de deshidratare este mult mai puternică. Ei determină deshidratarea coloizilor protoplasmei în așa măsură încît protoplasma poate coagula. Această acțiune de coagulare este foarte accentuată la ionii metalelor grele, care sînt toxici în concentrații mici.

Aceste cîteva date, ne arată clar necesitatea unui complex de cationi în activitatea vitală a plantelor. Însă, cationii din grupa macroelementelor necesare îndeplinesc și roluri fiziologice specifice, care nu pot fi înlocuite sau efectuate de alți cationi fie ei chiar din aceeași grupă.

Potasiul. Este un bioelement fundamental, intrînd în compoziția tuturor țesuturilor vegetale. Plantele folosesc în cantități relativ mari acest element, chiar din primele faze de vegetație. De altfel, aceasta reiese din faptul că în cenușă el se găsește în proporția cea mai mare. Potasiul se găsește localizat în cantitate mare în celulele țesăturilor active **și anume în citoplasmă și sucul celular. Se pare că lipsește din nucleu și** plastide. În cantitate mare se găsește și în semințe, acumulat în special în embrion. În endospermul semințelor potasiul se găsește în cantitate mică.

Rolul fiziologic al potasiului este multiplu. Acest element îndeplinește pe lîngă o serie de roluri generale și unele roluri speciale. De pildă, intervine în economia apei. Diminuiază transpirația și contri-

buie la menținerea turgescenței celulare. Există în această privință, cum s-a menționat de altfel, un antagonism între K și Ca. Turgescența scade cînd există o deficiență de potasiu, fapt observat în anii secetoși. Prin administrare de potasiu solului planta absorbîndu-l prin rădăcinele ei, capătă o oarecare rezistență la ofilire și la o uscare timpurie (cartofi, pătlăgelele roșii, ierburi, arbori fructiferi). Ajută și la rezistența la ger a plantelor, ca urmare a ridicării presiunii osmotice celulare. Pe lîngă aceste roluri menționate și care sînt generale, potasiul îndeplinește și roluri speciale. Potasiul mărește activitatea asimilatoare a frunzelor și asigură o mai bună utilizare a radiațiunilor solare. De aici se deduce că potasiul participă la formarea hidraților de carbon. În cenușa plantelor, care acumulează mult zahăr, este mult potasiu (sfeclă de zahăr) sau amidon (tuberculii de cartof). Se crede că participă activ chiar în procesul primar de formare a hidraților de carbon și acest lucru reiese din aceea că este necesar și plantelor fără clorofilă, în procesul de formare a hidraților de carbon.

Potasiul intervine în acumularea lipidelor și în metabolismul azotului. Favorizează formarea substanțelor proteice plecînd de la azotul mineral.

Se deduce acest lucru din faptul că potasiul se găsește răspîndit în acele organe unde se sintetizează substanțe proteice (vîrfuri de creștere, cambiu).

Potasiul ajută și la migrația zaharurilor reducătoare de la frunze spre organele de rezervă și condensarea lor sub formă de zaharoză, amidon. Efectul potasiului în migrație se observă mai ales în cursul maturației cerealelor și în cursul formării bobului.

Cercetările lui N. Deleanu și a colaboratorilor săi (1931), și alții, arată că în timpul vieții plantei pe măsura îmbătrînirii, el migrează din frunze spre fructe, tulpină, rădăcini. Cercetările lui D. N. Prianișnikov (1930) arată că potasiul, în timpul vieții plantei este supus unei migrații continui din organele bătrîne spre cele tinere (frunze tinere, vîrful vegetativ) sau în spre rădăcină și tuberculi.

Această migrație se explică ușor prin aceea că potasiul se găsește în cea mai mare parte sub formă de ioni și în mică parte sub formă de combinații labile.

Influența sau lipsa potasiului din nutriția plantei are urmări vătămătoare asupra creșterii și dezvoltării plantelor. Creșterea încetează, deoarece diviziunea celulară este paralizată. În afară de aceasta la plante apar diferite simptome, care variază după particularitățile plantei și gradul de insuficiență a acestui element.

Se constată brunificarea marginei frunzelor, o răsucire a lor, apoi uscarea.

Brunificarea însă înaintează progresiv și cuprinde toată frunza. Simptomul apare mai întîi la frunzele bătrîne și apoi se întinde și la frunzele tinere. La cereale se constată și o scădere a puterii de înfrățire, internodiile rămîn scurte, iar frunzele atîrnă în jos ca veștejite, chiar dacă plantele sînt bine aprovizionate cu apă. Tulpinele plantelor ierbacee, în lipsa sau insuficiența potasiului devin moi și apoi mor. La Crucifere, este caracteristică, în cazul insuficienței potasiului, culoarea verde albăstruie și apariția unor pete cu arsuri. Frunzele devin

aspre și lipsite de gust (varză). La cartofi în insuficiență de potasiu, tufele rămîn scunde, frunzele capătă o nuanță verde albăstruie mată. Pe frunze apar pete brune, care apoi se contopesc, apoi într-o fază mai înaintată frunzele se încrețesc și cad înainte de vreme. La pătlăgelile roșii, în insuficiență de potasiu, tulpina devine lemnoasă, iar frunzele capătă o culoare galbenă portocalie și întreaga frunză capătă un aspect bronzat. La vița de vie frunzele pe partea superioară capătă un lustru caracteristic în lipsa sau insuficiența potasiului. La arbori, pomii fructiferi, se constată că în timp ce tulpina continuă să crească, ramurile laterale și în special cele de la bază își încetinesc creșterea. Frunzele lor se răsucesc.

Sodiul. Apare în corpul plantelor în proporție schimbătoare.

Acest element nu pare să fie necesar plantelor. În lipsa sodiului plantele cresc și se dezvoltă bine, însă unele plante, halofitele, cresc mai bine în prezența sărurilor de sodiu.

Halofitele cresc pe terenurile sărăturoase, bogate în NaCl, de la marginea lacurilor sărate și din preajma zăcămintelor cu sare. Astfel de soluri se caracterizează prin aceea că au o vegetație săracă și în care speciile sînt de asemenea puține.

Numai puține plante se pot adapta ca să suporte o concentrație mare de sare (NaCl). În afară că clorura de sodiu în cantitate mare e toxică, ea contribuie și la ridicarea presiunii osmotice la o valoare foarte mare în plante.

Așa de ex. mătasa broaștei (Spirogyra) nu poate suporta mai mult de 1/4 din o soluție de 0,5% de NaCl. Algele marine din potrivă nu pot să trăiască în lipsa sărurilor de Na așa cum a arătat Osterhout. Algele care trăiesc în apele sărate, pot suporta concentrații mari de NaCl.

Alga Dunaliella, descoperită de Em. C. Teodorescu (1905) în Lacul Sărat, trăiește foarte bine în soluție saturată, cu NaCl (peste 30% NaCl). În genere se constată că toate plantele cresc și se dezvoltă ceva mai bine cînd substratul conține cantități mici de Na. S-a putut dovedi pe cale experimentală că Na poate înlocui parțial K. Pentru a se dovedi acest lucru se procedează astfel:

Se cultivă plante pe medii nutritive, care conțin cantități mici de potasiu și se mai adaugă NaCl. Se constată că plantele care au la dispoziție și Na, cresc și se dezvoltă mai bine, tot așa de bine ca și acelea care au la dispoziție o cantitate suficientă de K. Experiențele arată că numai 1/3 din K poate fi înlocuită.

Aceste constatări au importanță mare pentru practică. Sărurile de K fiind scumpe, pot fi în parte înlocuite cu săruri de Na. Sodiul înlocuiește potasiul numai în funcția osmotică.

Alte roluri ale potasiului nu pot fi înlocuite.

Calciul. Este unul din elementele de bază a nutriției. El se găsește în cenușa tuturor plantelor. În corpul plantelor calciul se găsește în cantitate mare în țesuturile adulte, cu activitate vitală redusă. În țesuturile plantelor se găsește atît sub formă de combinații anorganice cît și organice.

La plantele lemnoase se găsește sub formă de $CaCO_3$ depus în partea internă a lemnului (duramen) ex. la fag, stejar, ulm. Se mai

depune în interiorul membranelor pe care le impregnează, mai ales la unele alge (Chara, Carolina). Sub formă de $CaSO_4$ se găsește în cantitate mare în vacuolele algei Closterium (unicelulară). În cantitate mică de obicei se găsește în vacuole în stare insolubilă. Sub formă de $CaHPO_4$ calciul se găsește în stare dizolvată în sucul vacuolar. Cînd alga se deshidratează, calciul se depune sub formă de sferocristali de fosfat de calciu.

Din punct de vedere al rolului, calciul este privit ca un element ce neutralizează unii acizi organici aflați în exces, de pildă acidul oxalic, care sub formă liberă este toxic pentru plantă. Nu se știe precis dacă calciul înlătură excesul de acizi organici sau acizii organici înlătură excesul de calciu (D. N. Prianișnikov). Acizii organici în cantitate mare nu dăunează plantelor. Ei sînt produși ai metabolismului.

Calciul, sub formă de oxalat de calciu, insolubil în apă, se găsește în vacuolele multor frunze sub formă de macle, rafide și chiar amorfă (scoarța de soc). (Fig. 19).

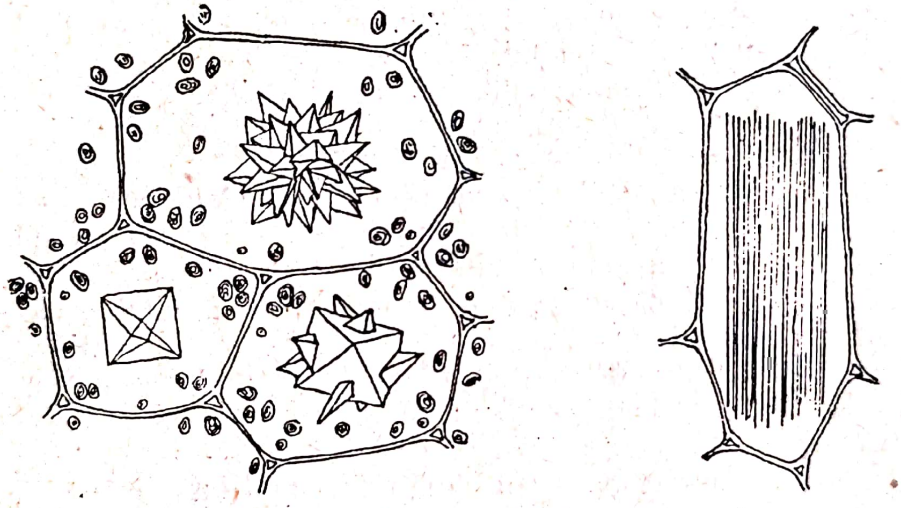


Fig. 19. Celule cu cristale de oxalat de calciu.

Sub forma de combinații organice calciul se găsește în pectatul de calciu, care formează cimentul de legătură dintre celulele vegetale. Cînd se tratează în țesut cu H_2SO_4, dispare pectalul și apar cristali de $CaSO_4$, care se depun pe lamela mijlocie. De asemenea calciul se găsește în fitină despre care s-a amintit.

După aceste cîteva combinații arătate se poate deduce că elementul calciu este absolut necesar plantelor, însă unele plante îl preferă în cantitate mai mare, altele în cantitate mai mică.

Rolul lui important ar consta în formarea pectalului de calciu (D. N. Prianișnikov). Însă, calciul este necesar și la alcătuirea nucleului, în diviziunea mitotică, etc. Calciul mai este necesar și în activitatea enzimei amilaza. Are influență favorabilă asupra formării nodozităților de pe rădăcinile plantelor leguminoase.

Din punct de vedere fiziologic, calciul trebuie apreciat ca antagonist al K, Na și Mg. Cercetările au stabilit că în condițiile unui

surplus a unuia dintre cele două elemente, absorbția celuilalt este îngreuiată. După Arland, calciul micșorează absorbția apei și mărește intensitatea transpirației. Deci calciul are un efect contrar potasiului.

Trebuie de avut în vedere că pentru o mai bună desfășurare a proceselor vitale, este necesară prezența unui anumit raport între cationi mono - și bivalenți. Ei se pot considera ca făcînd o unitate fiziologică.

Acțiunea reciprocă dintre cationi, determină creșterea stării de stabilitate a sistemelor coloidale protoplasmatice, care permit o desfășurare normală a schimbului de substanțe.

De pildă, ionul Ca^{++} anihilează acțiunea toxică a potasiului, dar el are față de excesul de ioni de H^+ o acțiune protectoare (Iljin, 1928).

După Iljin și alți cercetători, creșterea concentrației ionilor de H^+ ste însoțită de o mărire a permeabilității membranelor plasmatice, iar calciul vine cu o acțiune de contrabalansare în acest proces.

Insuficiența sau lipsa acestui element din nutriția plantei are urmări grave asupra creșterii și dezvoltării.

Plantele își opresc creșterea, tulpinele lor devin rigide, iar vîrful vegetativ se usucă. Rădăcinile se opresc și ele din creștere, rămîn scurte și groase și formează multe ramuri laterale. Vîrfurile rădăcinilor mor. Frunzele plantelor devin și ele rigide, se răsucesc și încrețesc, capătă pete brune (sfecla de zahăr, fasolea, floarea soarelui, cartofi) sau pete albe, care apoi devin cafenii (varza, legume). Aceste simptome clorotice apar de regulă la frunzele tinere. Plantele nu fructifică sau dacă fructifică, frunzele rămîn mici.

Este de remarcat că cloroza e o maladie a plantelor care se manifestă prin aceea că frunzele iau o culoare verde palidă, galbenă, albă provocată nu numai de insuficiența sau lipsa altor elemente (N, S, P, K, Mg, etc.) în cazul calciului este provocată și de excesul acestui element.

Pe terenuri calcaroase, care conțin o cantitate mare de $CaCO_3$, anumite plante ca lupinul și mazărea, sufăr de această boală, în timp ce alte plante ca porumbul, vița de vie nu sufăr.

Cercetîndu-se cauza, s-a stabilit că cloroza la lupin și mazăre este determinată de imposibilitatea acestor plante de a absorbi fierul și manganul întrucît sînt insolubilizate de către $CaCO_3$, adică transformat în $Fe(OH)_3$ și hidroxid de mangan. Porumbul, vița de vie nu se îmbolnăvesc de cloroză, pentrucă rădăcinele lor secretă acizi organici care solubilizează hidroxidul de fier și de mangan coloidal, transformîndu-i în fier și mangan solubil, asimilabil. Dacă eventual și la aceste plante apare cloroza, atunci ea nu este determinată de lipsa fierului, ci a excesului de calciu.

Vegetația este foarte mult influențată de cantitatea de săruri de calciu din sol, în special de $CaCO_3$. Plantele după relația lor cu acest element pot fi împărțite în două grupe: calcifile (care suportă calciu) și calcifobe (care nu suportă calciul). Menționăm dintre plantele calcifile Achillea atrata și Rhododendron hirsutum, iar dintre plantele calcifuge Achillea moscata, Rhododendron ferugineum și Castanea vesca. Dintre mușchi este calcifob Sphagnum (mușchiul de turbărie).

Magneziul. Este de asemenea un element absolut necesar plantelor, atît cu clorofilă cît și fără clorofilă. Pentru plantele verzi este indispensabil formării moleculei clorofilei, în care intră în proporția de 1 atom. Insă Mg se găsește în cantitate relativ mare și în protoplasma și sucul vacuolar al celulelor din țesuturile tinere, în creștere, unde de obicei se află fosforul, motiv pentru care se crede că are un rol în aprovizionarea și transportul fosforului în plante. Influențează activ activitatea unor enzime (fosfatazelor). La maturarea semințelor, magneziul împreună cu fosforul, trece din frunze în semințe, unde se acumulează în fitină. Magneziul a fost pus în evidență în unele combinații cu substanțele proteice.

Insuficiența acestui element determină la plante cloroza, care se manifestă diferit la diferitele plante. La bumbac, frunzele devin purpurii, cu nervuri verzi. La porumb pe frunze apar dungi galbene, iar la sorg purpurii. Nervurile rămîn verzi. La conopidă, varză creață, cloroza se manifestă prin apariția pe frunze de pete purpurii, care apoi devin galbene sau roșii portocalii. La frunzele de cartofi apar pete clorotice care apoi se necrozează.

La leguminoase foleolele devin galbene, nervurile rămîn verzi. La citrice frunzele se brunifică. Plantele întîrzie în fructificare, fructele sînt mai decolorate. Insuficiența acestui element se manifestă mai ales în anii ploioși, datorită spălării acestuia din sol. Excesul de Mg are un efect toxic asupra plantei, însă poate fi anihilat prin prezența sărurilor de calciu.

Rolul fiziologic al cationilor și anionilor din grupa microelementelor. Turburările provocate de insuficiența sau lipsa lor în metabolism

Primele date privitoare la rolul fiziologic al microelementelor, exceptînd fierul, le avem de la Raulin (1870), care a arătat rolul zincului asupra creșterii miceliului ciupercii Aspergillus niger. Cercetările sale date uitării au fost reluate în studiu de către Mazé (1915) pentru plantele superioare.

Concluziile la care a ajuns Mazé arată categoric că pentru o bună creștere a plantelor mai este nevoie și de prezența microelementelor mangan și zinc. Ulterior, o serie de alți cercetători au stabilit și necesitatea altor microelemente ca borul, cuprul, aluminiul, molibdenul, cobaltul și iodul. Rolul celorlalte microelemente, care se găsesc în cenușa plantelor rămîne încă necunoscut.

De altfel și rolul microelementelor menționate nu este prea bine cunoscut. Datele existente asupra importanței lor sînt mai mult prelucrate în legătură cu simptomele pe care le provoacă insuficiența sau lipsa lor.

În grupa microelementelor necesare intră fierul, borul, manganul, zincul, aluminiul, cuprul, molibdenul, cobaltul și iodul.

Scanned with OKEN Scanner

Fierul.

Primul dintre microelemente a cărui necesitate a fost stabilită încă în experiențele lui Knop, a fost fierul. Acest element este absolut necesar pentru viața plantelor. În plante fierul se află în proporție de 0,15-8,5 mg la 100 g substanță proaspătă, fiind repartizat mai mult în părțile verzi și active (frunze, muguri, organe de reproducere). În țesuturi , el se găsește în mică parte sub formă anorganică și în cea mai mare parte sub formă de combinațiuni organice heminice cum este citocromo-oxidoza (fermentul respirator roșu al lui Warburg), citocromii a, b, c, și alte substanțe de tip heminic, care participă în procesul de respirație. Participă în procesele de oxido-reducere, datorită capacității lui de a trece din forma ferică (Fe^{+++} în cea feroasă (Fe^{++}) și invers. E necesar formării clorofilei.

Favorizează sinteza nucleilor pirolici, care intră în alcătuirea moleculei de clorofilă, nuclei care în număr de patru se leagă cu atomul de Mg.

Insuficiența fierului determină încetinirea creșterii. Frunzele devin clorotice (galbene), apoi albe (cele tinere).

Pe urmă frunzele se brunifică și mor. Cloroza se poate combate dacă stropim frunzele cu o soluție diluată de sulfat de fier. Se constată că acolo unde pătrunde fierul se produce în scurt timp înverzirea.

Borul. Participă la o serie de procese din plante. Are rol în creștere și dezvoltare. În lipsa lui creșterea încetează, plantele nu fructifică. Dintre plante mult bor conțin sfecle, soia, ridichea. În țesuturile cerealelor se găsește în proporție de 2-3 mg la 1 kg substanță uscată, în mac de 97,7 mg. Plantele cu latex (macul, păpădia, Chelidonium, etc. conțin bor în cantitatea cea mai mare. În țesuturile tinere este în cantitate mai mare decît în cele bătrîne. Frunzele conțin mai mult bor decît semințele și rădăcinele.

În plante se găsește sub formă de compuși ai acidului boric cu alcooli, hidrați de carbon (glucoza și fructoza, cu manită), dînd compuși complecși organoborici.

Borul influențează procesul de formare al organelor de reproducere, micșorează toxicitatea altor elemente (Cu), stimulează activitatea diferitelor enzime (zaharază din sfeclă de zahăr), tirozinaza (din cartofi), pectinaza.

Participă la procesele de oxido-reducere din plante. Influențează formarea clorofilei împreună cu alte microelemente (Mn, Cu, Zn). Ia parte la metabolismul hidraților de carbon și participă la procesul de formare a acestora, favorizează procesul respirației. Are influență asupra fermentației acetice.

Insuficiența sau lipsa acestui element, provoacă un mare număr de boli fiziologice cum sînt: putrezirea inimei sfeclei de zahăr, miezul brun la napi, tulpina goală la conopidă etc. Putrezirea inimei sfeclei are loc ca urmare a distrugerii punctelor de creștere (cercetările lui Bobko și Belousov din 1934). La tutun cel mai mult suferă din lipsa borului celulele meristematice din vîrful rădăcinii. De asemenea tutunul și alte plante nu pot înflori în lipsa borului. Foarte sensibile la insuficiența sau lipsa borului sînt bumbacul și floarea soarelui. La pomii

Scanned with OKEN Scanner

fructiferi (meri, peri) insuficiența acestui element provoacă suberificarea pulpei fructelor. La vița de vie insuficiența borului se manifestă prin apariția pe frunze de pete brune cînd planta înflorește etc.

Toate aceste simptome se pot îndepărta administrînd solului, ca îngrășămînt, acid boric (5-11 kg la ha) sau borax (12-16 kg la hà). Doza va fi cu atît mai mică cu cît solul este mai acid.

Dozele maxime se aplică numai pe solurile alcaline, în special cele amendate cu var. Simptomele provocate de insuficiența borului se mai pot îndepărta prin stropirea plantelor cu soluții apoase ce conțin 2-5 mg acid boric la litrul de apă.

Manganul. Acest element se găsește în toate plantele. În țesuturile lor concentrația sa variază între 0,008-0,37 mg% (G. Bertrand, F. Jadin-A. Astruk, J. Skinner-Peterson). Este un element absolut necesar atît plantelor inferioare cît și celor superioare, avînd rolul de a stimula procesele de creștere și asimilația azotului. Pare să favorizeze sinteza unor vitamine. De regulă țesuturile bogate în mangan sînt bogate și în vitamine. Cercetările lui Vlasiuk (1914) arată că manganul stimulează sinteza hidraților de carbon în procesul asimilării carbonului, migrația zahărurilor din frunzele de sfeclă în rădăcini. Stimulează formarea clorofilei, favorizează formarea florilor.

Insuficiența acestui microelement provoacă cloroza frunzelor. Fenomenul apare mai întîi la frunzele tinere, apoi progresează la frunzele bătrîne. Și vîrfurile tulpinelor și adesea și partea de sub vîrf, devin cloritice. La insuficiența manganului sînt foarte sensibile spanacul, mazărea, fasolea, prazul, cartoful. Aceste plante se îmbolnăvesc de clorază mai ales cînd sînt cultivate pe soluri nisipoase supuse unei irigații abundente, din cauza spălării manganului în adîncime.

Se îmbolnăvește de asemenea de clorază, din insuficiență sau lipsă de mangan plantele care sînt cultivate pe soluri alcaline, amendate puternic cu var. În aceste condiții manganul trece într-o formă insolubilă, deci inaccesibilă plantelor.

Dintre cereale foarte sensibile la insuficiența manganului sînt ovăzul și grîul. Pe frunze apar pete cenușii sau galbene care se necrozează.

La varză și plantele înrudite cu ea, în lipsa manganului frunzele pot deveni în întregime clorotice, cu excepția nervurilor care rămîn verzi. Pe frunzele sfeclei de zahăr, în lipsa manganului apar pete galbene etc.

Aceste simptome se pot combate administrînd solului 20-50 kg de $MnSO_4$ la hectar, sau stropind părțile aeriene a plantelor cu soluții apoase de sulfat de mangan (5-10mg/1 apă).

Zincul. Este un element absolut necesar. Participă la alcătuirea moleculei unor enzime (carbohidrazei), care are rol important în procesul respirației. Cercetările recente mai arată că acest element mărește activitatea dipeptidazei și micșorează activitatea polipeptidazelor.

În lipsa sau insuficiența acestui element creșterea plantelor încetează. Frunzele rămîn mici, de culoare verde palidă.

M. T. fața

Scanned with OKEN Scanner

In celulele frunzelor adesea se constată modificări. În vacuole apar corpuscule sferice formate din fenoli, steroli și lectină, care în frunzele normale lipsesc. (Fig. 20).

Aceasta s-ar datora faptului că procesele de oxido-reducere nu decurg normal.

Foarte sensibile la insuficiența sau lipsa zincului sînt floarea soarelui, orzul, hrișca. După Reed, zincul are rol în fructificare. Cînd lipsește, plantele nu fructifică, iar cînd în plante este în cantitate insuficientă, semințele rămîn mici.

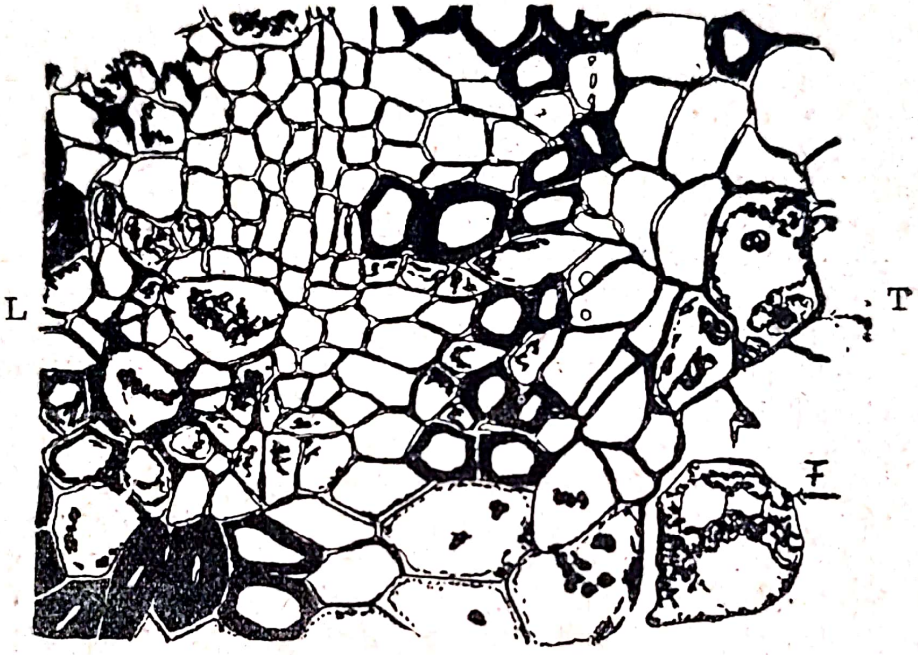


Fig. 20. Secțiune transversală printr-o nervură a unei frunze de portocal. Se văd vasele lemnoase separate prin raze medulare anormal de largi. L = lecitină; F = globule uleioase în plastide; T = precipitate fenolice anormal de abundente în vacuole. (După Dufrenoy).

S-a dovedit la mazăre că joacă rol în dezvoltarea ovarului și embrionului. Dacă lipsa acestui element survine în timpul înfloririi, ovarele cad. Favorizează sintetizarea substanțelor de creștere cunoscute sub numele de *auxine.*

Insuficiența zincului se manifestă puternic la piersici, pruni, vișini și vița de vie. La grîu, insuficiența zincului provoacă apariția de pete cenușii pe frunze, apoi frunzele cad.

Simptomele provocate de insuficiența acestui element se pot combate prin administrarea zincului sub formă de $ZnSO_4$ sau stropind plantele cu soluții de 2% $ZnSO_4$.

Cuprul. O serie de cercetători sovietici ca Laskevici (1937), Lazarov (1930). Proscura (1940), Bahușin (1944) și alții, au dovedit necesitatea acestui element pentru plantele de cultură. Însă el este necesar tuturor plantelor. Insuficiența lui se observă adesea pe terenurile mlăștinoase, unde cuprul este trecut de acizii crenic și apocrenic în forme insolubile, inaccesibile plantelor. În corpul plantelor cuprul se găsește

în enzimele: fenolaze, prototirozinază, ascorbinochinază, lacază, care au un rol important în procesele oxidative din celule. Numeroase experiențe arată că elementul cupru are un rol activ în metabolismul proteic în alcătuirea structurii cloroplastelor, M. I. Skolnik (1950) și alții au stabilit că cuprul determină în oarecare măsură rezistența la secetă a plantelor.

Insuficiența acestui microelement din corpul plantei provoacă îngălbenirea vîrfului frunzelor tinere (la cereale). Plantele înfrățesc puternic, dar nu formează semințe și uneori nu se formează nici spice. Insuficiența acestu elemente provoacă al citrusi, pruni, meri, peri boala cunoscută sub numele de „exantemă", care se manifestă prin aceea că lăstarii principali formează, la începutul perioadei de vegetație alți lăstari mai mici cu frunze mari colorate intens. Ulterior frunzele acestor lăstari devin clorotice.

Dacă insuficiența cuprului se accentuează mugurele terminal al lăstarului moare și apoi moare și lăstarul. Pe scoarța acestor plante apar niște umflături pline cu rășină, rupturi longitudinale în scoarță.

Această boală se poate combate administrînd solului îngrășăminte sub formă de săruri de cupru (20 kg la hectar).

Aluminiul. În corpul plantelor acest element deși se găsește în cantitate mică în protoplasmă, nucleu, vacuole, exceptînd unii licheni, Lycopodium, vița de vie ș. a. Este foarte important pentru plante prin aceea că contribuie la creșterea conținutului în apă legată în protoplasma celulelor în timp de secetă. Accelerează solubilizarea amidonului. Provoacă coagularea coloizilor proteici (cînd e în cantitate mai mare). Culoarea florilor depinde între altele și de sărurile de Al.

Se știe că florile de Hortensia sînt roșii în anumite soluri și albastre în altele.

Molisch a arătat că adăugarea de săruri de potasiu solului duce la formarea de flori roșii, iar adăugarea de săruri de aluminiu la formarea de flori albastre.

Molibdenul. Și molibdenul este considerat ca un element absolut necesar creșterii și dezvoltării plantelor. Necesitatea molibdenului a fost demonstrată pentru multe plante. Pătlăgelele roșii în lipsa molibdenului prezintă simptome caracteristice. Pe fața inferioară a frunzelor apar pete brune sub formă de bastonașe. Mai tîrziu frunzele cad, florile nu leagă. O influență pozitivă a molibdenului s-a observat în experiențele făcute cu cartofi, mazăre, grîu, lucernă, în soluțiile nutritive. Plantele dau o recoltă mai mare. Leguminoasele în lipsa molibdenului nu formează nodozități.

Hoagland (1941) a constatat că insuficiența molibdenului la puieții de prun, frînează creșterea frunzelor. Frunzele rămîn mici, iar pe unele apar pete mici brune, care se necrozează.

Cercetările lui Vinogradova (1943) arată că leguminoasele, comparativ cu alte plante, acumulează în semințe, nodozități, o cantitate mai mare de molibden.

Iodul. Se găsește răspîndit în toate plantele, însă în cantități foarte mici, exceptînd algele din mări și oceane care conțin cantități mai mari de iod. Cînd plantele se ard cea mai mare parte din iod se volatilizează.

Scanned with OKEN Scanner

In plante se găsește fie în combinații anorganice, fie în combinații organice. La unele alge se găsește chiar în stare de iod liber (molecular). Dacă astfel de alge se așează pe o hîrtie de filtru impregnată cu o soluție de amidon, hîrtia se colorează în albastru. Probabil că iodul liber se formează din ioduri, care sînt descompuse sub acțiunea enzimelor.

Iodul îndeplinește multe roluri: stimulează respirația plantelor, creșterea, germinația și formarea substanțelor organice.

În afară de microelementele menționate, mai sînt și altele, care pare să fie necesare plantelor și anume: fluorul, cobaltul, nikelul, cesiul, rubidiul și litiul. Ele stimulează creșterea plantelor și unele participă la formarea diferitelor enzime și vitamine. Aceste elemente, adăugate în soluțiile nutritive determină sporirea apreciabilă a recoltei.

Rolul fiziologic al ultramicroelementelor

Cercetările lui Vernadschi (1929) și ale altora arată că elementele radioactive se găsesc în toate solurile, în ape, plante și animale. În 1932 Vinogradov, constată în urma cercetărilor sale că de multe ori plantele conțin mai mult radiu decît mediul înconjurător. Experiențele făcute în trecut cu elemente radioactive, au dat rezultate negative din cauza folosirii unor doze prea mari. Astăzi, este dovedit că radiul, uraniul, actiniul, date plantelor în doze foarte mici stimulează creșterea și dezvoltarea plantelor. Molisch (1905), a dovedit experimental că prin emanațiile radioactive se grăbesc procesele metabolice. Ramurile și alte organe, care se găsesc în stare de repaus de iarnă, supuse acestor emanații, își grăbesc înflorirea.

Experiențele lui A. A. Drobkov (1939, 1947, 1949), arată că mazărea își mărește masa vegetativă sub influența unei cantități mici de 1.10^{-9} actiniu, de radiu 1.10^{-11} și de uraniu 5.10^{-5} la 6 litri de apă distilată. Sporirea dozelor provoacă micșorarea recoltei comparativ cu doza optimă, dar totuși superioară martorului.

Cercetările lui Kunaseva (1949), scot în evidență faptul că cea mai mare cantitate de radiu se acumulează în rădăcinile plantelor, că această acumulare se face în tot timpul perioadei de vegetație, consumul maxim fiind în timpul înfloritului și coacerii fructelor.

În viața plantelor aceste elemente au un rol stimulant.

Diferiți arbori ca stejarul, fagul, pinul, cresc și se dezvoltă cam de două ori mai repede pe soluri ce provin din roci vulcanice, decît pe solurile provenite din roci sedimentare.

Elementele radioactive stimulează diferite sinteze: sinteza substanțelor proteice, a sărurilor. De asemenea și transpirația este accelerată de elementele radioactive. Elementele radioactive stimulează activitatea invertazei, enzimă care mijlocește descompunerea hidrolitică a zaharozei într-o moleculă de glucoză și una de fructoză, activează complexul de enzime, zimaza, care produce fermentația alcoolică, grăbesc procesul de cicatrizare a rănilor.

Acțiunea stimulantă a elementelor radioactive este atribuită energiei intra-atomice colosale care se emite necontenit sub formă de ra-

diații alfa, beta și gama și care pot activa moleculele neutre. Enzimele din plante deoarece concentrează la suprafața moleculelor lor elemente radioactive, activează moleculele organice accelerînd descompunerile sau sintezele.

În momentul de față se știe că elementele radioactive din plante sînt izvoare permanente de energie cinetică intra-atomică, care împreună cu energia solară joacă un rol fundamental în desfășurarea proceselor biologice complicate atît din plante cît și din animale.

ABSORBȚIA SUBSTANȚELOR MINERALE DE CĂTRE RĂDĂCINELE PLANTEI

În știință a dominat multă vreme părerea că substanțele minerale din sol pătrund odată cu apa și că transpirația este cauza care determină intrarea atît a apei cît și a sărurilor minerale în corpul plantei. S-a dedus aceasta din faptul că plantele care transpiră mai mult dau o cantitate mai mare de cenușă prin ardere. Această părere s-a dovedit inexactă. În realitate procesul absorbției substanțelor minerale este mult mai complicat. Prât (1823) a dovedit, determinînd conductibilitatea electrică a sevei brute, că nu există nici o dependință directă între absorbția sărurilor și intensitatea transpirației. Alți cercetători ca Osipova și Iufereva (1926), Tuieva (1926) arată că plantele la anumite valori ale pH-ului elimină, chiar în condiții de transpirație intensă, ioni de Ca^{++} So_4^{--} și PO_4^{---}

Aceste constatări confirmă independența dintre procesul de absorbție al apei și substanțelor minerale. Această independență se poate urmări foarte bine în culturi de plante pe soluții nutritive. Numeroasele cercetări făcute arată că aproape niciodată sărurile minerale nu se absorb de către rădăcini în concentrația în care se află în soluția nutritivă. Din soluțiile mai diluate, sărurile, sînt absorbite mai energic decît apa și soluția devine din ce în ce mai diluată. Dimpotrivă, din soluții foarte concentrate planta absoarbe mai multă apă decît săruri și soluția devine din ce în ce mai concentrată. O dovadă în plus este absorbția inegală a anionilor și cationilor din sărurile fiziologic acide și fiziologic bazice, despre care am amintit la începutul capitolului.

Independența relativă între absorbția apei și cea a sărurilor dizolvate în apă își găsește explicația în teoriile mai noi, în special din ultimele două decenii.

În 1939 H. Jenny și Overstreet, emit teoria că, absorbția sărurilor de către rădăcinile plantelor se face prin schimbul prin contact și migrarea superficială a ionilor.

După această teorie ionii absorbiți de către particulele coloidale ale solului se găsesc într-o mișcare oscilatorie datorită reținerii prin forțe de tensiune electrostatică. În urma contactului dintre suprafața particulelor coloidale ale solului și suprafața perișorilor radiculari, are loc trecerea ionilor de pe o suprafață pe alta. Cationii și anionii absorbiți de particulele coloidale ale solului trec pe rădăcinile plantelor, iar ionii de H^+ absorbiți pe perișorii rădăcinelor trec pe particulele de sol.

Numeroase cercetări făcute de către diferiți fiziologi au dovedit că în adevăr rădăcinile plantelor reţin prin adsorbţie, la suprafaţa lor, elemente nutritive din soluţie, însă acest proces este urmat de acţiunea reciprocă dintre substanţele adsorbite şi protoplasma perişorilor.

Acest fapt constituie un moment principal în pătrunderea sărurilor în celulă. Teoria lui Jenny şi Overstreet, este numai în parte justă deoarece s-a stabilit că pentru ca acest schimb să aibă loc e necesar ca pentru fiecare fază de vegetaţie, în raport cu consumul diferitelor elemente, să corespundă o anumită stare de saturare a coloizilor din sol, cu cationul respectiv. S-a putut dovedi că în cazul cînd concentraţia cationilor este mai mică decît starea de echilibru, are loc o trecere a cationilor din plantă în sol, iar cînd concentraţia cationilor absorbiţi este superioară stării de echilibru, are loc trecerea lor din sol în plantă.

Teoria lui Jenny-Overstreet, nu explică nici nutriţia plantelor cu NO_3 şi PO_4, întrucît aceşti ioni nu se încadrează în procesul de adsorbţie, ca fază iniţială.

Pentru rezolvarea justă a problemei absorbţiei substanţelor nutritive, planta trebuie privită ca un produs al dezvoltării istorice. Viaţa a luat naştere în apa mării, care reprezintă o soluţie bogată în săruri, ori este normal ca în dezvoltarea ulterioară organismul să păstreze pecetea condiţiilor în care s-a format. Sărurile intrînd în compoziţia protoplasmei au avut capacitatea de a forma un număr nesfîrşit de combinaţii între ele şi substanţele organice.

In procesul evoluţiei au apărut şi s-au perfecţionat enzimele în compoziţia cărora adesea intră elementele minerale.

Între plante şi mediul înconjurător este o strînsă legătură şi acţiune reciprocă încă de la îngroparea seminţelor în sol.

Planta ia din mediul înconjurător elementele nutritive în mod selectiv, însă acest proces nu se petrece unilateral, în sensul intrării continue a elementelor minerale nutritive. Se produce şi eliminarea simultană de substanţe datorită proceselor de metabolism a plantelor şi a relaţiilor reciproce cu solul şi microflora solului.

Trebuie de avut în vedere că planta nu absoarbe elementele nutritive în aceeaşi proporţie în care se află în soluţia solului, ci în alte raporturi, conform cerinţelor biologice ce s-au format în cursul dezvoltării istorice.

Schimbul de ioni dintre protoplasma celulelor rădăcinii şi sol

Funcţia de absorbţie a elementelor minerale sub formă de ioni din soluţia solului este îndeplinită de către celulele vii ale rădăcinii. Ştefan Popescu (1926), experimentînd cu coloranţi vitali, arată că meristemul terminal şi piloriza nu absorb soluţiunile, dar absoarbe zona netedă cuprinsă între perii radiculari şi piloriză, precum şi perişorii radiculari cînd există.

Rădăcina, prin intermediul perişorilor radiculari şi a zonei netede, vine în contact cu diferite forme şi combinaţiuni ale compuşilor elementelor nutritive. O mică parte a sărurilor din sol se află dizolvată în soluţia apoasă a solului fiind cu uşurinţă absorbită de rădăcini. Cea mai mare parte a sărurilor minerale e absorbită de particulele co-

loidale ale solului sau se găsește în stări minerale insolubile în apă sau organice nestabile.

Contactul strîns cu particulele din sol are o importanță foarte mare fiindcă permite rădăcinelor să dizolve minerale greu solubile (carbonatul de calciu, fosforitele și altele).

Un rol important în dizolvare îl are bioxidul de carbon, eliminat de către rădăcini și microorganisme, în procesul respirației, sărurile fiziologic acide (sulfatul de amoniu, unii acizi (lactic, butiric), eliminați de către bacteriile din sol, ca produse de schimb.

Fenomenul de absorbție este aproape continuu, însă capacitatea de absorbție nu se menține constantă, ci se modifică de la un moment la altul. Această modificare apare ca un proces normal, întrucît diferiți ioni absorbiți modifică structura materiei vii a celulelor rădăcinii. De natura ionilor absorbiți, de amestecul lor în soluția solului, depinde viteza și sensul curentului de ioni în schimbul de substanțe dintre celulă și soluția solului. De natura ionilor absorbiți depinde refacerea periodică a structurilor celulare din întreg corpul plantei.

Ținem să subliniem că dintre elementele nutriției minerale N, P, S, Ca și Mg, suferă transformări profunde pînă sînt prelucrați în compuși organici sau organo-minerali. Ceilalți ioni, de pildă de K, Na etc. se păstrează sub formă liberă sau slab legată, avînd o mare importanță în menținerea sistemelor coloidale din plasmalemă și tonoplast.

După cercetările lui E. I. Ratner (1950), în procesul acțiunii reciproce dintre celulele rădăcinii și soluția solului, există de fapt, două sisteme de absorbție: unul este planta, iar celălalt coloizii din sol. Circulația ionilor are loc sub forma unei deplasări de la sol spre plantă și în unele condiții și invers. Intensitatea și sensul deplasării ionilor dintr-o direcție sau alta depinde de starea de saturare a plantei sau solului în anumiți ioni. Dacă planta este saturată în anumiți ioni, deplasarea ionilor de la sol spre plantă nu mai are loc. În acest caz, ionii pot fi eliminați (desorbiți) de către rădăcinile plantei, în sol. Însă, pe măsură scăderii progresive a saturării celulelor rădăcinii, care se produce în urma prelucrării ionilor absorbiți în procesele de metabolism, în rădăcini se creează condițiile unei deplasări a ionilor din sol către ele. Deplasarea ionilor din sol către rădăcini și invers depinde și de schimbările stadiale și de vîrsta plantei. De pildă, cînd planta îmbătrînește, coloizii protoplasmei celulelor rădăcinii își slăbesc capacitatea de legare și de reținere a ionilor. În această situație ele nu mai pot învinge capacitatea de legare și de reținere a ionilor de către complexul coloidal al solului.

La plantele îmbătrînite cu metabolism scăzut, schimbul de substanțe cu solul se face în cea mai mare măsură pe seama cationilor din grupa metalelor pe care planta i-a absorbit anterior. La plantele tinere, cu metabolism activ, ridicat, schimbul de substanțe cu solul se face pe seama cationului H ,care se formează în celule în procesul respirației.

La plante ce trăiesc în apă sau în sol (monocelulare sau pluricelulare) schimbul de ioni se face pe toată suprafața corpului lor. La aceste plante, ionii adsorbiți de către suprafața protoplasmei celulei (plasmalemă), trec în mezoplasmă, iar din aceasta pot trece în tonoplast din

care ajung și în vacuolă. Procesul, se petrece și invers. În urma proceselor catabolice, ionii pot fi eliminați de către celule. Deci la plantele superioare există un circuit al elementelor minerale, însă precizăm că astfel de circuit este efectuat numai de ionii care nu intră în combinațiile organo-minerale. Ionii care intră în combinații organo-minerale efectuiază numai un ciclu de deplasare și unul de transformare.

Absorbția ionilor de către plasmalema protoplasmei celulelor rădăcinii

După D. A. Sabinin (1934), ionii și anume anionii și cationii din soluția solului sînt adsorbiți de către stratul superficial al plasmei, adică de plasmalemă, prin schimb cu anionii și cationii eliminați din plasmă în sol, apă, astfel că se păstrează neschimbat echilibrul sarcinilor electrice.

În acest schimb un rol important îl are CO_2 degajat în sol de către rădăcini, în procesul respirației. Bioxidul de carbon difuzînd în soluția solului dă naștere H_2CO_3, care se disociază în cationi H și anioni CO_3H.

Acești ioni rezultați din disociere, sînt parțial adsorbiți de pereții celulari și plasmalemă (Lundegardh) și împreună cu cei de OH, constituie un fond de schimb permanent și inepuizabil pe care rădăcinile plantelor îl cedează solului, primind în schimb, în raporturi echivalente, ioni care participă intens la procesele sintetice. În schimbul cationului de H plasmalema adsoarbe din soluția solului diferiți alți cationi, de K, Na, Ca, Mg, Fe, Mn etc., iar în schimbul anionilor de CO_3H și de OH, adsoarbe diferiți anioni, de NO_3, PO_4, SO_4 Cl etc. Cum plasmalema are proprietăți dielectrice, adică sarcini pozitive și negative, adsorbția concomitentă a diferiților anioni și cationi este posibilă în schimbul ionilor de H^+, CO_3H^- și OH^-. Această posibilitate de adsorbție este condiționată de însușirile amfotere ale proteinelor plasmalemei.

Pătrunderea ionilor din plasmalemă în mezoplasmă

Ionii adsorbiți la suprafața plasmalemei în anumite locuri prin acțiunea forțelor de atracție electrostatică, după atingerea unui anumit nivel de saturație a acesteia, sînt supuși unei dislocări spre interiorul protoplasmei. Ei pătrund în mezoplasmă unde se formează neîntrerupt ioni de H^+ și $C0_3H^-$, în procesul respirației.

Din mezoplasmă acești ioni se deplasează mereu spre plasmalemă, unde înlocuiesc anionii și cationii adsorbiți de către aceasta, din mediul extern.

Este de presupus că într-o unitate de timp, pe suprafața plasmalemei se adsorb tot atîția anioni și cationi, din mediul extern, cîți anioni și cationi au fost dislocați de către mezoplasmă de pe suprafața plasmalemei.

Scanned with OKEN Scanner

De aici se deduce că compoziția plasmalemei este permanent reînoită. Plasmalema trebuie deci privită ca o formațiune a cărei conținut în ioni este în continuă schimbare.

Ionii pătrunși în mezoplasmă sînt legați labil de către macromoleculele proteice acre o alcătuiesc. Experiențele făcute de S. Brooks (1953) cu potasiul radioactiv, arată că în schimbul de ioni, dintre plasmalemă și mezoplasmă, există o serie de stadii intermediare, în care anionii și cationii formează mai înainte să se schimbe cu ionii de H^+ și CO_3H^- compuși cu părțile componente ale mezoplasmei. Se formează cu anionii și cationii proteinați, însă cum în aceste combinații ei sînt labil legați, ei participă ușor în reacțiile de schimb dintre celulă și mediul extern.

Dintre cationi, numai cei de calciu se găsesc mai puternic legați, însă nu în toate cazurile. De ex. la Elodea ei sînt slab legați, fapt ce permite să fie ușor îndepărtați dacă planta se introduce într-o soluție de citrat de potasiu de concentrația 0,05 N. Pe seama calciului eliminat din mezoplasmă, și care a fost substituit de potasiu, în mediul extern se formează citrat de calciu. Timpul de decalcificare este foarte scurt (de 5-300 de secunde).

Acumularea ionilor în sucul vacuolar

Se știe că vacuola cu conținutul ei este o formațiune, care apare pe seama separării apei din protoplasmă și a desorbției ionilor din mezoplasmă.

Experiențele făcute cu coloranți vitali (roșul neutru, albastrul de metilen și alții) au dovedit că aceste substanțe se pot acumula într-un timp foarte scurt (cîteva minute), într-o proporție care depășește cu mult pe aceea a soluției externe.

Cationii acestor coloranți, după ce au fost adsorbiți de plasmalemă se desorb în mezoplasmă, unde formează cu macromoleculele proteice combinații nestabile. Din mezoplasmă apoi ei sînt desorbiți în vacuolă, unde formează combinații mai stabile, în special cu taninurile.

Acumularea de anioni și cationi, în sucul vacuolar este deosebit de evidentă la alga de apă dulce Nitella și alga marină Valonia. (Fig. 21 A, B). La Nitella se constată o acumulare mare de ioni de natriu și considerabilă de ioni de K față de concentrația lor în mediul extern. De asemenea se constată și o acumulare mare de ioni de calciu, magneziu și de clor. La Valonia dimpotrivă se constată o acumulare slabă de ioni de natriu, cu mult mai mică decît există în mediul extern. Are loc însă o acumulare mare de ioni de potasiu și foarte slabă de ioni de calciu și magneziu. În ce privește ionii de clor, ei se acumulează cam în proporția în care există în mediul extern.

Scanned with OKEN Scanner

De aici se poate deduce că acumularea de ioni în sucul celular este selectivă şi că ea nu depinde de concentraţia de ioni a mediului extern.

Acumularea ionilor în sucul celular este un proces activ care depinde de activitatea mezoplasmei, de metabolismul în genere al plantei.

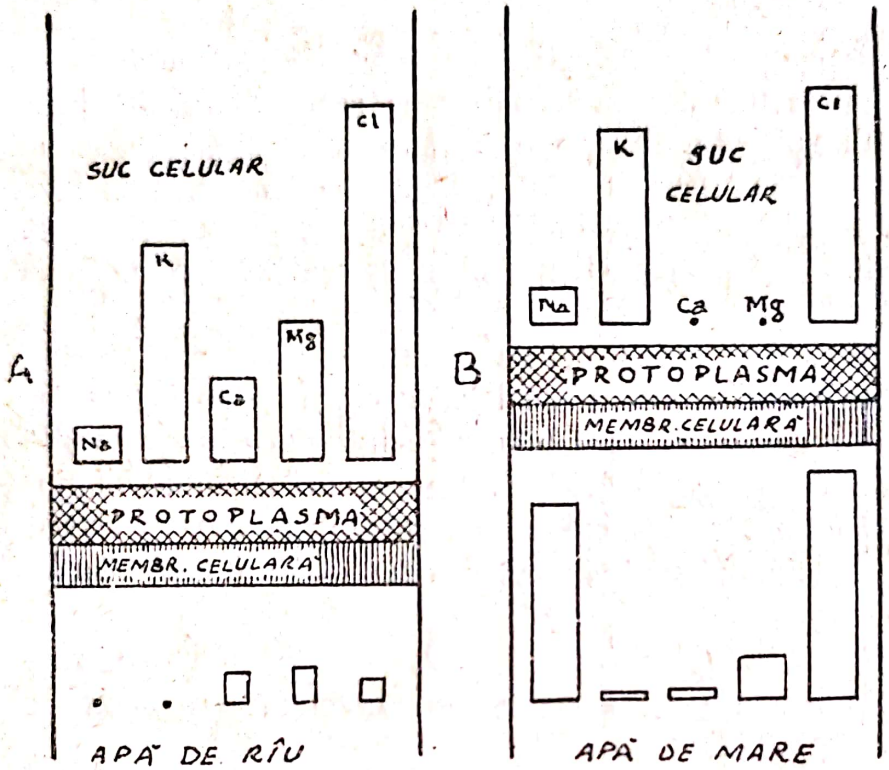


Fig. 21 A, B. Acumularea selectivă a elementelor minerale la Nitella (A) şi la Valonia (B). Diagrama reprezintă concentrarea relativă a ionilor în mediul de cultură şi în sucul vacuolar. (După Hoagland).

DEPENDENŢA ABSORBŢIEI ELEMENTELOR MINERALE DE RESPIRAŢIE

Ideia justă despre dependenţa absorbţiei elementelor minerale de respiraţie s-a putut formula în urma cercetărilor lui Steward din 1933, efectuate cu felii de cartofi, ţinute în concentraţii diferite de oxigen.

Rezultatul cercetărilor se poate vedea din tabelul Nr. 5.

Influenţa cantităţii de oxigen asupra absorbţiei potasiului şi a bromului de către feliile de cartof. (Din Curtis şi Clark 1950)

Tabel nr. 5.

Cantitatea de O_2 din amestecul de gaze folosit la suflare în %	K şi Br absorbit în 70 ore dintr-o soluţie de KBr 0,005 N, în miliechivalenţi		pH	CO_2 eliminat prin respiraţie în mg
	K	Br		
21 (aer)	1,3	1,4	5,9	706
3,8	0,5	0,7	5,9	301

Din acest tabel se desprinde ideia că absorbția ionilor din mediul extern este strîns legată de respirația aerobă a celulei vegetale. La o concentrație mare de oxigen are loc o absorbție intensă a ionilor de K și Br. La o concentrație scăzută are loc încetinirea absorbției acestor ioni.

Necesitatea respirației în absorbția ionilor de K și Br a fost dovedită și la rădăcinile de orz de către Hoagland și Broyer (1936). Datele obținute sînt trecute în tabelul Nr. 6.

Absorbția potasiului și bromului de către rădăcinile de orz în raport cu aerația. (Din Sabinin)

Tabel nr. 6.

Variantele	Concentra ia ionilor în sucul celular, în miliechivalenți		Modificarea concentrației în suc față de cea inițială, în miliechivalenți		CO_2 eliminat prin respirație în mg
	K	Br	K	Br	
La începutul experienței	29,7	0,0	—	—	—
După 6 ore de barbotare a aerului	61.3	26,0	+31,6	+26,0	0,422
După 6 ore de barbotare cu azot	28,9	3,3	—0,8	+3,3	0,213
După barbotare repetată cu aer	53,2	17,3	+23,5	+17,3	0,320

Potapov și Stankov (1934) și Potapov (1940), în experiențele efectuate cu porumb au constatat un paralelism între respirația zilnică a rădăcinilor și absorbția ionilor de NO_3^- și PO_4^{---}

Absorbția ionilor în funcție de respirație se realizează în raport de procesele care au loc în protoplasmă, în special de sinteza proteinelor, și de care depinde capacitatea celulelor de a absorbi ioni din mediul extern.

Datele mai sus prezentate ne dau posibilitatea să înțelegem dece la o aerisire slabă se petrece o scădere a intensității absorbției ionilor.

V. I. Palladin, (1889), a constatat în experiențele sale cu plante agricole, că dacă condițiile de aerisire a plantei se înrăutățesc, sinteza proteinelor slăbește foarte mult.

Cercetările lui A. Ulrich, au stabilit că există o corelație între absorbția anionilor și cationilor și metabolismul acizilor organici. Cînd raportul dintre cationii și anionii absorbiți este cu mult în favoarea cationilor, conținutul în acizi organici crește foarte mult. În cazul cînd raportul este în favoarea anionilor, cantitatea de acizi organici scade.

Din cele arătate rezultă că absorbția ionilor este strîns legată de procesul respirației (consumului de zaharuri, acizi organici), deoarece în acest proces se formează ionii de H^+ și CO_3H^- care substituie ionii absorbiți din mediul extern. Însă absorbția ionilor este legată și de formarea proteinelor care datorită caracterului lor amfoter, sînt acceptoare de ioni.

Scanned with OKEN Scanner

INFLUENȚA ACȚIUNII RECIPROCE DINTRE IONI ȘI ANTAGONISMUL LOR ASUPRA ABSORBȚIEI

Pătrunderea ionilor elementelor minerale în plantă depinde în mare măsură și de raportul concentrației lor, în soluția externă. Dacă în cazul unei sări pure absorbția este în funcție de concentrația sa în mediul exterior, în cazul unui amestec de săruri, absorbția nu mai este în funcție de concentrație. În acest caz, absorbția unui ion poate să fie modificată de natura și proporția altor ioni prezenți în soluție.

Se spune că există antagonismul a doi ioni A și B cînd unul (A) rămînînd constant, celălalt (B) are ca efect frînarea din ce în ce mai mult a absorbției primului, cînd concentrația sa crește progresiv în mediul exterior. Acest fapt reiese din datele cuprinse în tabelul Nr. 7, obținute de G. Barbier (1936) cu plante de porumb, cultivate pe o soluție nutritivă cu o compoziție apropiată de a soluției solului.

Antagonismul între ionul de K^+, Ca^{++} și Mg^{++} și influența sa asupra absorbției lor de către rădăcinele de porumb

Tabel nr. 7.

K în mediul nutritiv (miliechivalenți la litrul de soluție)		0,06	0,25	0,5	1,0
1. Compoziția plantei uscate (miliechivalenți la 100 g), după o lună de la răsărire	K a Mg	25,5 101,5 66,5	52,5 70,0 33,5	98 63,5 30,0	131 56 22
2. Compoziția plantei uscate (miliechivalenți la 100 g), la maturitate	K Ca Mg	6,0 55,0 30,0	10,0 39,0 15,0	21,5 28 13,0	39 19 9,6

Din tabel se constată că concentrația potasiului crescînd în mediu, absorbția calciului, dar mai ales a magneziului este micșorată. Această acțiune antagonistă a potasiului față de calciu este foarte evidentă la porumb, spanac. Ea este foarte puțin evidentă la ovăz și inexistentă la ceapă.

Dimpotrivă, dacă ionii de Ca^{++} predomină în soluție, cantitatea lor în plantă nu crește decît slab fără să se manifeste o acțiune antagonistă față de absorbția potasiului de către plantă.

Pe de altă parte există un antagonism între ionii de Mg^{++} și K^+. Îmbogățirea mediului în ioni de K^+ determină scăderea conținutului în magneziu din plantă și anulează fenomenele de toxicitate datorită ridicării raportului Mg : Ca în soluția nutritivă.

Între ionii de aceeași valență, de pildă Ca și Mg, antagonismul este mai puțin evident. La fel și pentru ionii de K și Na. Fenomene de antagonism s-au constatat și între ionii de H^+ și Ca^{++}. Se știe că o concentrație mare de ioni de H^+ în soluția nutritivă inhibă creșterea plantei.

Pe baza datelor existente este știut că predominația sodiului în mediul nutritiv împiedică absorbția potasiului. Potasiul în cantități corespunzătoare cu nevoile plantelor are efect favorabil asupra absorbției ionilor de NO_3^- și Fe^{++}, dar are un efect de frînare asupra absorbției elementului mangan. În exces potasiul frînează absorbția ionilor de calciu, de magneziu și a anionului PO_4.

S-a observat că atunci cînd planta duce lipsă de potasiu, ea valorifică mai bine azotul din sursă amoniacală.

S-a constatat antagonism și între anioni. Ionii de SO_4^{--} stînjenesc la sfeclă absorbția ionilor de Cl^- și a seleniților. Predominația ionilor de Cl^- în mediul nutritiv, frînează absorbția ionilor de PO_4^{---}. Aceste fenomene se traduc în cele din urmă, în nutriția plantei, prin substituiri între diverșii ioni, a căror sumă asigură în plantă echilibrul acido-bazic.

Influența reacției mediului asupra absorbției ionilor și activității metabolice a plantei

În urma numeroaselor observații făcute direct în teren și cu culturi de plante pe soluții nutritive s-a ajuns la constatarea că reacția mediului (pH), influențează direct activitatea de absorbție a sărurilor minerale de către rădăcinile plantei.

Soluțiile ce vin în contact cu rădăcinile plantei prezintă în mod necesar o concentrație în ioni de H^+ și de OH^-, ori pentru fiecare specie, soi de plantă, viața nu este posibilă decît între anumite limite ale valorii pH-ului. Acest fapt a fost observat încă de Pasteur.

Pasteur a arătat că un anumit grad de aciditate sau de alcalinitate a mediului favorizează mai mult sau mai puțin creșterea și dezvoltarea unei specii determinate.

De pildă, mucegaiurile preferă soluțiile nutritive acide, bacteriile soluțiile nutritive neutre.

Plantele superioare au preferințe diferite față de reacția mediului. Unele dintre ele cresc și se dezvoltă bine în condițiile unei reacții acide, altele în condițiile unei reacții neutre sau alcaline.

Comportarea diferită a plantelor față de reacția mediului se poate constata din tabelul Nr. 8, în care sînt trecute valorile optime ale reacției mediului, pentru cîteva plante de cultură.

Reacția mediului necesară plantelor de cultură

Tabel nr. 8.

Planta	pH	Planta	pH	Planta	pH
Grîu	6—8	Muștar	6—7,5	Castraveți	6—7
Ovăz	5—6	Rapiță	7—8	Conopidă	7—8
Secară	5—6	Sfeclă de masă	7—8	Dovleci	6—7
Orz	7—8	Sfeclă de zahăr	7—8	Gutui	7
Porumb	6—8	Pătlăgele roșii	6—7	Coacăz	6—7
Fasole	6—7	Varză	6—7	Cais	7
Lupin galben	5—6	Vărză roșie	7—8	Agriș	4,6—4,8
Lupin dulce	6—7	Varză creață	7—8	Citracee	5—6
Mazăre	6—7	Hrișcă	5—7	Castan	6—6,5
Cartof	5—6	Fragi	6—7	Măr (soiuri nordice)	7—7,5
Hrean	6—7	Smeură	6—7	Măr (soiuri sudice)	6,5—7,5
Piersic	7	Morcovi	7—8	Vișin	7
Păr	7				

În cadrul aceleași specii, diferitele soiuri de arbuști și pomi fructiferi se comportă diferit față de reacția mediului, datorită adaptării lor istorice la anumite condiții de mediu.

De pildă, o serie de soiuri de măr, cultivate pe soluri alcaline sufăr mai mult de cloroză decît cînd sînt cultivate pe soluri acide.

Părul altoit pe păr sălbatec suferă mai puțin pe solurile acide decît părul altoit pe gutui. Cînd reacția este puternic alcalină (pH=9), în celule se acumulează hidrați de carbon și aminoacizi, iar substanțele proteice se formează slab. Perișorii radiculari se acopăr cu o substanță mucilaginoasă și ca urmare creșterea plantei este foarte mult stînjenită.

Cum se constată din tabel, unele plante superioare pentru creșterea și dezvoltarea lor normală preferă o reacție neutră, altele acidă sau alcalină cu amplitudini mai mari sau mai mici a valorii pH-ului.

Aceste constatări sînt o indicație că valoarea pH-ului mediului nutritiv are o influiență mare asupra absorbției substanțelor nutritive minerale.

Cercetări importante asupra influienței pH-ului, asupra absorbției elementelor nutritive minerale a făcut D. N. Prianișnikov (1931) și colaboratorii săi, la sfecla de zahăr cultivată în diferite condiții de nutriție într-o soluție nutritivă curgătoare. Datele obținute sînt trecute în tabelul Nr. 9.

Influența reacției mediului asupra recoltei sfeclei de zahăr la nutriția cu azot nitric și amoniacal. (Din Sabinin)

Tabel nr. 9.

Sursa de azot	p H-ul			
	Propus a fi realizat	Soluției introduse	Soluției evacuate	Recolta în g
$(NH_4)_2SO_4$	5,5	5,95	5,0	13,3
$NaNo_3$	5,5	5,40	5,95	39.8
$(NH_4)_2SO_4$	7,0	7,10	6,5	33,2
$NaNO_3$	7,0	—	7,2	13,2

Din datele cuprinse în tabel rezultă că în condiții de aprovizionare cu azot din $NaNO_3$, la un pH de 5,5 sfecla de zahăr dă o producție de trei ori mai mare decît la un pH de 7,0

Se obțin însă rezultate bune numai dacă se asigură tot timpul soluției nutritive o aerisire bună. Numai în felul acesta se asigură menținerea unei valori constante a pH-ului, în întreg volumul soluției. Aerisirea se face prin realizarea unui curent permanent de aer în interiorul soluției. Dacă nu se face aerisirea, atunci rădăcinele plantelor formează în jurul lor zone de concentrație schimbată a ionilor de H^+ și pH-ul din aceste zone este schimbat de acel al soluției luată în întregime.

Scanned with OKEN Scanner

Cercetări făcute pe alte plante de cultură (salată, pătlăgele roșii), scot în evidență faptul că la valori scăzute de pH se produce o inhibare puternică a absorbției ionilor de Ca^{++}.

De pildă, la salată, s-a constatat că la un pH de 3,0, are loc chiar o desorbție de ioni de Ca^{++}, în mediul înconjurător, pe cînd la pătlăgelele roșii s-a observat o inhibiție a absorbției de ioni pe PO_4^{---} fapt ce se reflectă asupra recoltei.

Influența valorii pH-ului asupra recoltei de salată și de pătlăgele roșii se poate constata din tabelul Nr. 10.

Influența pH-lui asupra recoltei de salată și pătlăgele roșii.
(Din Sabinin)

Tabel nr. 10.

pH-ul mediului	Greutatea brută în grame			
	Salată		Pătlăgele roșii	
	Organe aeriene	Rădăcini	Organe aeriene	Rădăcini
3,0	—	—	—	—
4,0	85.2	26,0	22,3	13,0
5,0	285,4	50,8	80,2	23,5
6,0	292,6	44,7	92,7	19,1
7,0	162,8	28,1	80,9	19,4
8,0	165,1	36,5	49,1	15,4
9,0	8.2	5,3	4,3	2,7

Din aceste date obținute de D. A. Sabinin, trage concluzia că la reacția acidă a mediului, care depășește o anumită valoare, scăderea recoltei plantelor s-ar datora înrăutățirii absorbției de către rădăcinile plantelor a ionilor de PO_4^{---} și de Ca^{++}. Salata de ex. dă o recoltă bună la un pH=5,0, dacă acțiunea cationului de H este echilibrată printr-o concentrație a cationului Ca de 280 mg la litrul de apă.

Dimpotrivă, dacă în soluție calciul se găsește într-o concentrație numai de 20 mg/l apă, toxicitatea ionului de hidrogen determină o recoltă slabă.

Circulația ionilor în rădăcină și în tulpina plantelor. Metoda atomilor marcați ca mijloc de studiu al circulației elementelor minerale

Circulația ionilor în rădăcină

Ionii sărurilor minerale absorbiți de celulele de la exteriorul rădăcinii sînt transportați prin celulele corticale la endoderm, periciclu, parenchimul lemnos și desorbiți în vasele conducătoare de lemn ale cilindrului central.

Deplasarea ionilor de la suprafața rădăcinii și pînă la vasele de lemn se face printr-un proces de desorbție. În acest proces un rol în-

semnat îl are mișcarea circulară a protoplasmei celulelor corticale, schimbul direct între ioni și macromoleculele proteice. Deplasarea ionilor prin celulele corticale se face cu o viteză mare, însă trebuie de avut în vedere că nu toată cantitatea de ioni absorbiți ajunge în seva brută a vaselor de lemn. Din experiențele făcute de Bîkov (1929), pentru azot și de Tineva (1929) pentru fosfor, reiese că o parte din ionii sărurilor minerale absorbiți formează combinații labile cu componenții protoplasmei celulelor corticale ale rădăcinii, altă parte intră în combinații stabile și numai o mică parte din ei străbat drumul de la suprafața de adsorbție pînă la vasele conducătoare de lemn. De aici rezultă că rădăcina, pe lîngă rolul de absorbție al apei și substanțelor minerale, nutritive, mai îndeplinește și un altul în sintetizarea de substanțe complexe. Așa se explică de ce unii ioni, ca cei de NO_3^- absorbiți în cantitate mare de către rădăcini din soluția solului, se întîlnesc în cantități infime în seva brută a vaselor conducătoare de lemn. De altfel, cercetările lui Schmuk (1940) și a colaboratorilor săi, dovedesc că în rădăcinile de tutun are loc sinteza alcaloizilor nicotină și anabazină pe seama zaharurilor și a sărurilor azotate.

În circulația ionilor prin celulele rădăcinii un mare rol desigur au și potențialele electrice ale celulelor, care deși sînt mici (sub 100 milivolți pe mm), pot totuși determina deplasarea rapidă a ionilor.

Circulația ascendentă a ionilor în corpul plantelor

Ionii sărurilor minerale sînt desorbiți în vasele conducătoare de lemn, cu o viteză destul de mare. Acest lucru este un indiciu că desorbția este un proces activ. La această constatare s-a ajuns nu de multă vreme prin folosirea atomilor marcați. Dacă într-o soluție nutritivă, în care se găsesc rădăcinile unei plante de orz se introduce atomul marcat de Na, se constată prezența sa după două ore, de la introducerea sa în soluție, în seva vaselor conducătoare de lemn.

Sînt folosiți și atomi marcați de ai fosforului (P^{32}), azotului (N^{15}), carbonului (C^{14}), al sulfului (S^{35}), potasiului (K^{42}) etc., a căror radioactivitate ține mai mult de 15 zile.

Se folosesc atomi marcați care emit particule cu un conținut mare de energie. Conținutul atomilor marcați poate fi determinat direct în corpul plantelor, cu ajutorul contorului Geiger—Műller sau radioautografiei. Contorul ne dă posibilitatea să înregistrăm cantitativ intensitatea radiațiilor.

Radioautografia se obține aplicînd planta care a absorbit un element radioactiv, la întuneric, pe o placă fotografică pentru cîtva timp. Pe negativ, în locurile unde se emit radiațiunile, se produce o înegrire, iar pe fotografie apar locuri luminoase.

Pe această cale s-a putut stabili că ionii diferitelor săruri minerale ajunși în vasele conducătoare de lemn, prin desorbție de către celulele parenchimului lemnos, sînt transportați odată cu apa, prin curentul de transpirație, la vîrfurile vegetative, frunze și fructe.

S-a stabilit că ionii sărurilor sînt transportați mai ales spre vîrfurile vegetative, unde sînt utilizați în procesele de creștere, în frun-

zele tinere și fructele în curs de creștere, unde sînt utilizați în procesele de sinteză.

Experiențele lui V. M. Klecikovski, V. N. Stoletov și T. E. Edochimova (1951), ale lui V. V. Racinski (1951), cu plante tinere de soia, pe soluții nutritive care conțineau fosfor radioactiv (P^{32}) sub formă de fosfat, arată că acest element este repede absorbit și se răspîndește relativ repede în întreg corpul plantei, dar mai ales în frunze (Fig. 22) și în vîrfurile vegetative.

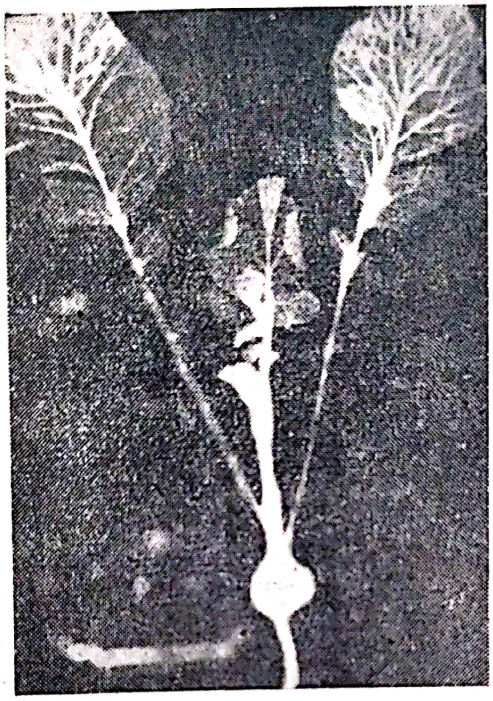


Fig. 22. Radioautografia unei plante de ridiche care a absorbit fosfați conținînd fosfor radioactiv.

In această privință interesante sînt și cercetările lui T. F. Andreiev și G. G. Pludcevskaia (1952) și alții, care au lucrat cu atomi marcați de N^{15}. Ca sare au folosit $(NH_4)_2SO_4$.

Experimentînd cu secară de toamnă au constatat prezența N^{15} în proteinele structurale, după 4 ore de la introducerea plantulelor în soluția nutritivă, care conține sulfat de amoniu cu azot marcat.

Cercetările lui V. M. Klecikovski (1951) și a colaboratorilor săi au dovedit că la soia fosforul radioactiv se acumulează mai întîi în rădăcină, de unde pătrunde apoi, dar încet, în părțile verzi ale plantei. Ei au mai dovedit că fosforul, care se acumulează în boabe, în momentul formării lor, provine în cea mai mare parte din combinațiile de fosfor ale țesuturilor plantei și numai o mică parte din îngrășămîntul fosfatic introdus în faza de formare a semințelor. De aici se deduce că o parte din elementele minerale sînt legate în combinații complexe. O altă parte, din elemente sub formă de ioni, pătrunși în protoplasma celulelor frunzelor și altor organe, trec din protaplasmă în vacuole luînd parte la determinarea presiunii osmotice și turgescenței celulelor.

CIRCULAȚIA DESCENDENTĂ A ELEMENTELOR MINERALE IN CORPUL PLANTELOR

Cînd se îndepărtează scoarța și liberul la o tulpină sau ramuri, prin decorticare inelară se constată la analiză, deasupra inciziei, în calus, prezența de săruri de azot, fosfor și potasiu, în afară de zaharuri și aminoacizi. Substanțele minerale ajung deasupra inciziei datorită faptului că ele sînt transportate de la frunze prin vasele de liber, spre rădăcini.

Cantitatea de substanțe minerale acumulate deasupra locului de inelare și dedesubtul locului de inelare se poate constata din datele trecute în tabelul Nr. 11 obținute de către Mason, Maskel și Philis.

Cantitatea de zahăr și elemente ale nutriției minerale, deasupra și sub locul de inelare. (Din Sabinin)

Tabel nr. 11.

(calculat la un segment de 18 cm)

Substanța	Planta inelată	Planta neinelată	Diferența față de planta normală	Procentul
Deasupra locului de inelare				
Zahăr g	1,675	1,858	+0,183	0,068
Azot mg	95,60	100,50	+4,90	4,78
Fosfor mg	30,76	32,84	+2,08	2,28
Potasiu mg	97,50	98,95	+1,45	7,06
Calciu mg	43 20	40,40	—2,80	3,13
Mai jos de locul de inelare				
Zahăr g	2,255	1,900	—0,355	0,079
Azot mg	119,10	130,50	—6,60	4,84
Fosfor mg	39,35	38,78	—0,65	0,95
Potasiu mg	138,40	132,25	—5,15	6,19
Calciu mg	59,98	57,05	—6,93	1,29

În sprijinul circulației elementelor nutriției minerale în sens descendent (bazipetal), sînt experiențele privitoare la nutriția extraradiculară a plantelor. Plantele pot să fie aprovizionate și prin organele lor aeriene, în special prin frunze cu substanțele nutritive necesare. Introducerea elementelor minerale în frunze se face prin stropirea plantelor cu soluții nutritive de o anumită concentrație, care să nu provoace arsuri. Substanțele minerale din soluția nutritivă pătrund în celulele de la suprafața frunzelor, lăstarilor și se răspîndesc apoi în tot corpul plantei.

Tuieva (1950), a observat că la alimentarea suplimentară extraradiculară a plantelor cu fosfat acid de sodiu se obține o sporire considerabilă a conținutului în fosfor în rădăcini. A. P. Vinogradov, a

dovedit cu ajutorul atomilor marcați că potasiul, magneziul și fosforul, pot fi întîlniți în diferite părți ale corpului plantei, cînd au fost introduși în plantă prin stropirea frunzelor.

Cercetările lui H. B. Tukey și S. H. Wittwer (1955), cu atomul marcat de potasiu (K^{42}) și de fosfor (P^{32}), arată că dacă se stropesc merii, piersicii, în timpul perioadei de vegetație cu o soluție de carbonat de potasiu cu K^{42} și de ortofosfat acid cu P^{32} aceste substanțe sînt absorbite de îndată, în special de frunze și migrează în diferitele părți ale plantei (tulpină, rădăcină, fructe). Deschiderea și închiderea stomatelor are o importanță minimă în absorbția substanțelor minerale. În alte experiențe făcute cu fasole, castraveți, pătlăgele roșii, cei doi cercetători arată că absorbția elementelor minerale se face cam în aceeași măsură atît ziua cît și noaptea. De aici se deduce, că stropirile se pot face nu numai dimineața sau seara, ci și noaptea.

Reutilizarea elementelor minerale în corpul plantelor

Între elementele minerale există unele care nu iau parte în circuit. Dintre acestea fac parte: Ca, Fe, Mn, Bi și Zn. Aceste elemente deoarece intră în combinații greu solubile nu se supun procesului de reutilizare.

Alte elemente minerale ca N, P, S, K dimpotrivă intră în circuit și se supun reutilizării. Azotul, sulful, fosforul, cu toate că intră în combinații complicate cum sînt proteinele, sînt supuși reutilizării. Proteinele sînt supuse descompunerii și produșii rezultați pot fi folosiți pe loc pentru noi sinteze sau să se deplaseze prin plantă în alte organe unde să fie reutilizați.

Elementele care se reutilizează, spre deosebire de cele care nu se reutilizează în sinteze, se întîlnesc în concentrații mari în organele tinere (frunze, vîrfuri de creștere, fructe), care cresc, unde sînt folosite ca material pentru alcătuirea de macromolecule. Descompunerea combinațiilor organo-minerale, poate avea loc chiar în locul de formare a lor sub acțiunea enzimelor.

Produșii rezultați, din această descompunere, sînt desorbiți în vasele de liber, ale curentului descendent, de unde descriind o mișcare circulară prin plantă ajung din nou, prin intermediul vaselor de lemn ale curentului ascendent, într-un organ aerian, unde pot să fie reutilizați.

Asupra existenței unui curent general al elementelor nutritive și a reutilizării lor, grăitoare sînt cercetările lui Hevsey, Lindstrom, Lang, Olsen (1937) citate de D. A. Sabinin (1955).

Acești cercetători au transplantat plante de porumb, în vîrstă de 10 zile, cînd aveau numai o singură frunză, într-o soluție de fosfat cu izotopi neradioactivi $_{15}P^{31}$ și într-o soluție de fosfat cu izotopi radioactivi ($_{15}P^{32}$) și le-au lăsat să crească 21 de zile, în care timp au format și cea de a doua frunză. Au făcut apoi analize chimice pentru determi-

narea izotopului obișnuit și a izotopului radioactiv, la 4, 7, 14 și 21 zile de la transplantare. Rezultatele obținute sînt trecute în tabelul Nr. 12.

Cantitatea de fosfor obișnuit și radioactiv în diferite organe ale plantelor de porumb. (Din Sabinin)

Tabel nr. 12.

Nr. de zile în care plantele cresc în soluția de $15^{P^{32}}$	Organul analizat al plantei	Cantitatea $15^{P^{32}} + 15^{P^{31}}$ mg	Cantitatea $15^{P^{32}}$ mg	$\frac{15^{P^{32}}}{15^{P^{31}} + 15^{P^{31}}}$ mg
4	Teaca frunzelor	2,05	0,806	0,395
7	Limbul f unzei 1-a	1,12	0,358	0,318
	Teaca frunzelor	1,39	0,878	0,630
7	Limbul frunzei 1-a	1,16	0,528	0,445
14	Teaca frunzelor	5,74	1,21	0,733
	Limbul frunzei 1-a	1,95	1,31	0,672
	Teaca frunzelor	5,45	1,31	0.791
21	Limbul primei frunze	0,903	4,64	0,709
	Limbul frunzei a 2-a	7,17	5,01	0,698

Datele cuprinse în tabel arată existența circuitului fosforului în plantă și reutilizarea acestui element. Se constată că frunza a doua se formează pe seama izotopului radioactiv, dar și a celui neradioactiv, care a fost reutilizat.

După D. A. Sabinin, reutilizarea elementelor nutriției minerale are o mare importanță în viața plantelor, ea fiind legată în oarecare măsură de schimbările de vîrstă a acestora.

Eliminarea (desorbția) de către plante de elemente minerale în mediul înconjurător

În cursul perioadei de vegetație, pe lîngă fenomenul de pătrundere a anionilor și cationilor, în plantă, are loc și fenomenul invers, de trecere a unor anioni și cationi din plantă în sol, fenomen cunoscut sub numele de desorție.

Rădăcinele plantelor, exceptînd CO_2 produs în respirație și unii acizi ce contribuie la solubilizarea substanțelor insolubile, elimină anioni și cationi conform mecanismului care reglează schimbările între sol și plantă.

Dacă se introduce rădăcina unei plante într-o soluție ne tamponată, de ex. apă distilată puternic acidă sau alcalină, se constată că pH-ul se apropie de neutralitate, prin o excreție de ioni bazici în primul caz sau de anioni acizi în al doilea caz.

Fenomenul desorbției este în legătură cu vîrsta plantei, cu absența în soluția solului a altor ioni, cu reacția soluției solului.

Eliminarea de către plante de elemente nutritive minerale a fost observată de către Isidore Pierre (1864), la grîu și rapiță, între perioada de înflorire și maturitate a plantei.

Joulie (1896) constată o eliminare constantă a elementului potasiu. Această constatare a fost confirmată de către André la plantele de orz și grîu. Elementele potasiu și sodiu, arată André sînt eliminate puțin cîte puțin, de către plantă, începînd cu înflorirea. Pentru alte plante, (ceapă, sfeclă, in) eliminarea a fost observată la maturitatea completă.

Din tabelul Nr. 13 se poate constata scăderea progresivă a elementului potasiu la plantele de grîu, orz și cartof.

Eliminarea elementului potasiu în cursul perioadei de vegetație. (După G. André)

Tabel nr. 13.

Planta	Data analizei	Proporția relativă în potasiu
Grîu	14. VII	100
	5. VIII	99,0
	28. VIII	58,9
Orz	17. VI	100
	23. VII	84,2
	27. VII	64,7
Cartof	16. VII	54,7
	18. VIII	78,3
	5. X	100,0

După cum se constată din tabel, la cartof, G. André, n-a observat nici o eliminare, ci dimpotrivă o acumulare a elementului potasiu în plante. O pierdere însemnată de potasiu și azot a fost observată și de către Burd (1919) la orz din momentul înspicării. Aceste elemente nu se găsesc în rădăcini de unde a tras concluzia că se elimină în sol.

În țara noastră, N. T. Deleanu (1931), a ajuns la concluziuni analoge la ovăz, Prunus insititia, etc. pentru potasiu, azot, fosfor.

Pierderi însemnate de fosfor, au fost observate de către N. T. Deleanu la sfecla de zahăr, în cursul creșterii.

I. E. Ratner (1950) în experiențele sale constată o desorbție a elementelor K și Ca. La plantele de orz, calciul poate fi desorbit în sol cînd plantele sînt în vîrstă de 13 zile, cînd soluția solului este puternic saturată cu natriu. Deplasarea calciului din plantă în sol are loc atît din rădăcină cît și din organele aeriene. Eliminarea Ca se constată și în cazul cînd se pun rădăcinile în apă pură. Fenomenul desorbției nu se datorește exosmozei, ci intervin o serie de factori. Desorbția potasiului și calciului are loc mai ales cînd soluția solului este acidă. Cînd soluția este alcalină desorbția se face slab.

Desorbția este în legătură și cu influența cationilor din sol asupra coloizilor solului. Dacă complexul solului este saturat cu Na, desorbția se intensifică, iar dacă în soluția solului se găsesc și ioni de C^{++}, Mg^{++}, Cl^{-}, desorbția se micșorează.

Desorbția cationilor datorită legăturii reciproce dintre rădăcinele plantelor și coloizii solului, este cu atît mai puternică, cu cît aceștia din urmă au o mare capacitate de a reține un anumit cation. În acest caz, are loc desorbția nu numai din rădăcină, ci și din organele aeriene.

Desorbția anionilor este și ea destul de bine studiată. Pe baza experiențelor cu atomi marcați cu brom, Iazviţki a constatat la plantele de orz că bromul poate trece din plante în sol. Pentru a observa acest fenomen rădăcina plantei se ține într-o suspensie de hidroxid de fier încărcat electro-negativ.. Fenomenul nu se observă dacă rădăcinile stau în suspensii de argilă coloidală încărcată negativ.

N. A. Maximov (1948), arată că într-o experiență făcută cu o plantă de orz, a cărei rădăcini erau într-o suspensie de cernozion saturată cu 70% N și 30% Ca, s-a produs desorbția fosforului.

Cauzele care determină desorbția fosforului nu se cunosc.

Probabil că desorbția acestui element este legată mai mult de metabolismul plantei și mai puțin de însușirile fizico-chimice ale fazei solide a solului.

La culturile pe soluție nutritivă, se observă o eliminare de amoniac datorită reducerii nitraților cînd aceștia sînt absorbiți în exces. Aceste constatări au fost făcute de D. N. Prianișnikov (1938), la plante etiolate. Ahromeiko (1936) constată că leguminoasele pot elimina prin rădăcinele lor cantități apreciabile de fosfor. Însă la leguminoase s-a constatat și eliminare de azot, fapt ce explică influiența favorabilă bine cunoscută, asupra altor plante cultivate împreună cu ea, cum este cazul unui amestec de măzăriche sau mazăre cu orz, ovăz, cartof.

După Virtanen (1936), eliminarea de substanțe azotate sub formă de amino-acizi, în special acidul aspartic și beta alanina, constituie un proces normal în cursul vegetației și în relație cu nodozitățile.

A. Demolon (1946), a constatat în experiențele sale o eliminare de amoniac cînd activitatea sintetică a plantelor depășește posibilitățile de utilizare a plantei.

Fenomenul constatat nu este legat numai de acțiunea reciprocă dintre rădăcinele plantei și sol.

O eliminare de cationi se produce și de către organele aeriene prin spălarea lor de către apele de ploaie.

S-au constatat pierderi însemnate de K, Mg, Ca la grîu în apropierea maturității plantelor. În cazul viței de vie, pentru frunzele bătrîne, s-a constatat o pierdere însemnată de K prin difuziune în apa de ploaie, de pe frunze.

Se pune problema dacă substanțele desorbite de către rădăcini nu se comportă și ca toxine față de culturile ulterioare. În unele cazuri, rădăcinile plantelor elimină în sol și substanțe toxice, însă natura lor nu este cunoscută. Dacă de ex. se spală rădăcinele de muștar cu apă și cu această apă se udă alte plante se constată o întîrziere a creșterii plantelor. Acest fapt dovedește că rădăcinile plantelor pot elimina în sol și toxine, dar că ele dispar repede în cele mai multe cazuri prin aerisire sau activitatea microorganismelor din preajma rădăcinilor (rizosferă).

Scanned with OKEN Scanner

SURSELE DE AZOT PENTRU PLANTE

În sol cantitatea cea mai mare de azot se găsește sub formă organică (resturi vegetale și animale, acizi humici, plasma microorganismelor moarte, diferiți compuși intermediari proveniți din descompunerea substanțelor protidice). Din azotul total din sol numai o mică parte, se găsește sub formă de săruri minerale (azotați, azotiți și săruri amoniacale solubile în apă care de obicei nu trec de 1% din azotul total), și de amoniac care este reținut de complexul adsorbant al solului. Sub formă solubilă în apă se găsește în combinațiile amidice și aminice. Rezervele de azot din sol se reînoiesc continuu, prin precipitații și prin diferite procese biologice și datorită diferitelor condiții în care se desfășoară activitatea microorganismelor. Compușii organici se pot transforma în compuși accesibili plantelor și uneori chiar în azot elementar.

Prin precipitațiile atmosferice, sînt aduse în sol, cantitățile însemnate de azot mineral. Prin ploaie se aduce în sol 0,5 mg NH_4, 0,13 mg azot organic și 4,80 mg NO_3 la litru.

Prin zăpadă se aduce în sol aproximativ 3,35 mg azot amoniacal, 3,84 mg azot organic și 4,70 mg azotați la 1000 g. Deși este mică această cantitate ea totuși constituie o sursă pentru plante.

Pentru marea majoritate a plantelor sursa de azot o constituie sărurile amoniacale și azotații din sol. Principalul izvor de amoniu sînt resturile organice vegetale și animale din sol, precum și produșii de dezasimilație a viețuitoarelor din sol. Sub influența diferitelor bacterii și ciuperci, resturile organice sînt degradate într-o serie de compuși intermediari, care apoi dau naștere la amoniac. Procesul acesta cunoscut sub numele de amonificare se face cu absorbție de energie.

Mai departe amoniacul prin oxidare (proces exotermic) se transformă în acid azotos și apoi azotic, conform reacției:

$$2\ NH_3 + 3O_2 \dashrightarrow 2\ NO_2H + 2H_2O + 158\ Kg/cal,$$

$$2NO_2H + O_2 \dashrightarrow 2\ NO_3H + 42\ Kg/cal.$$

Procesul acesta, de transformare a amoniacului prin oxidare în azotiți și azotați poartă numele de nitrificare. În prima fază a nitrificării intervin bacterii specializate din genul Nitrosomonas, și Nitrosococcus iar în faza a doua intervin bacterii din genul Nitrobacter. (Fig. 23).

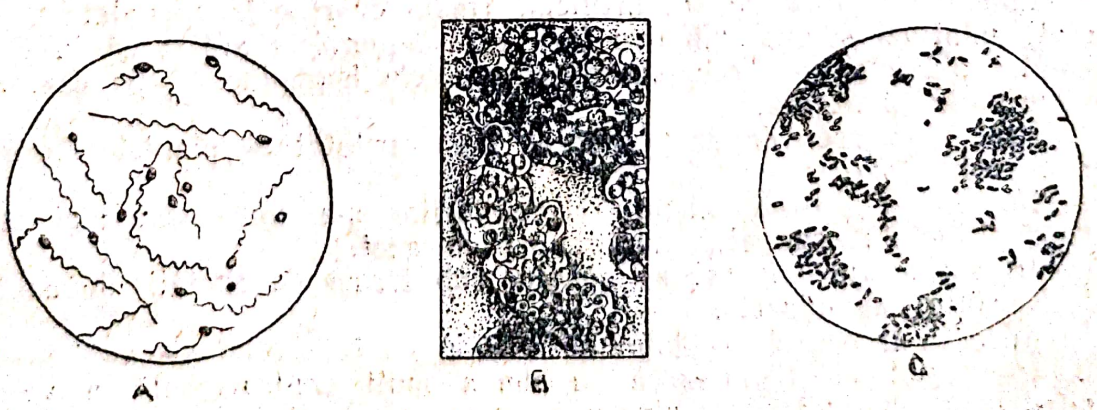


Fig. 23 A, B, C. Bacteria nitroasă (Nitrosococcus) de Java (A) și din Europa (B). Nitrobacter din Quito (C). (După Vinogradski).

O parte din amoniacul care se produce, se degajă în atmosfera solului, altă parte se combină cu acizii carbonic, sulfuric, azotic, formîndu-se sărurile acizilor respectivi, iar altă parte se oxidează în acid azotos. O parte a acidului azotos se combină cu bazele din sol și formează azotiți, iar altă parte se oxidează în acid azotic, care pe măsură ce se formează este în parte neutralizat de bazele din sol.

Bacteriile nitrificației urmăresc în procesul oxidării amoniacului și acidului azotos energia, care se eliberează și pe care o utilizează la asimilarea bioxidului de carbon pe care îl absorb din aer.

Procesul nitrificării are o foarte mare importanță în natură deoarece, cînd condițiile de aerisire, umiditate, de temperatură etc. sînt realizate pe deplin în sol, 1 ha de sol poate acumula într-un an 40—50 kg azot nitric.

Desigur că acest azot acumulat prin procesul nitrificării, nu rămîne în întregime la dispoziția plantelor. O parte din azotul nitric, din cauză că este slab reținut de către coloizii solului, este dus de către apele de ploaie spre straturile mai profunde ale solului, unde prin activitatea anumitor bacterii anaerobe, este supus unei reduceri continui.

Nitrații sînt reduși în nitriți, apoi în protoxid de azot, dar mai ales în azot liber molecular (N_2), care se răspîndește în atmosfera solului și de deasupra solului.

Acest proces, cunoscut sub numele de denitrificare, este defavorabil plantelor. Denitrificarea se face cu consum de energie, pe care bacteriile și-o procură prin oxidarea hitraților de carbon pe care îi ia din sol.

Formele de azot din sol pe care le utilizează plantele în nutriția lor și valoarea lor nutritivă

Știind diversele forme sub care se găsește azotul în natură, (atmosferă, sol), se pune problema, care din aceste forme sînt utilizate cu predilecție de către plante în nutriția lor.

Incă de pe la 1861, Boussingault în urma a numeroase experiențe cu plante de cultură pe sol artificial (nisip cvarțos bine spălat și calcinat) udat cu soluții nutritive fără azot mineral a arătat că în lipsa azotului plantele nu cresc, exceptînd plantele leguminoase, pe care și-l procură din atmosferă.

Prin adăugarea de azot mineral, s-a constatat că plantele cresc și se dezvoltă bine.

De atunci încoace atenția cercetătorilor s-a concentrat mai mult asupra studiului sărurilor anorganice de azot.

In sol azotul mineral se găsește sub formă de azotați, de azotiți, și de săruri amoniacale.

Incă la începutul secolului al XX-lea, D. N. Prianișnikov și școala sa au căutat să lămurească problema mult controversată a valorii nutritive a diferitelor combinații anorganice de azot ca sursă de nutriție.

Pînă la începutul sec. XX-lea se susținea că sărurile amoniacale nu sînt bune surse de azot pentru plante, decît în cazuri foarte rare.

Scanned with OKEN Scanner

Se susținea că sărurile amoniacale nu sînt surse bune de azot pentru plante, întrucît sînt toxice, și că fiind puternic reținute de către complexul adsorbant al solului, plantele le absorb mai greu. La această concluzie s-a ajuns pentrucă nu s-a ținut seama de modificările reacției mediului nutritiv prin folosirea acestor săruri, în special a sulfatului de amoniu, cu reacție fiziologic acidă.

În 1874 Adolf Mayer, dovedi că plantele asimilează prin frunze amoniac ca atare și-l transformă în substanțe protidice, totuși a ajuns la concluzia logică că și rădăcinile plantelor pot avea această capacitate.

Dar, cu toate că s-a întărit concepția nutriției plantelor cu azot nitric, rămînea nelămurită nutriția plantelor cu azot în terenurile mlăștinoase și în păduri,, unde procesele nitrificării lipsesc sau se produc într-o măsură foarte mică.

Experiențele lui Müntz (1885—1888), au dovedit că pe sol semisterilizat (în care activitatea bacteriilor nitrificației a fost îndepărtată) porumbul, orzul, cînepa, măzărichea, cresc și se dezvoltă normal cu o hrănire numai cu azot amoniacal. Müntz, în urma rezultatelor obținute trage concluzia că azotul amoniacal este absorbit direct de către plante, fără o prealabilă oxidare, cum se credea pînă la el.

Lucrările lui D. N. Prianișnikov (1900) și cele ulterioare ale lui Kossovici, Butkievici, au înlăturat vechea concepție.

D. N. Prianișnikov, efectuînd experiențe cu plante pe soluții nutritive ce conțineau ca sursă de azot azotați și săruri amoniacale, a ajuns la constatarea că azotul amoniacal este mai repede absorbit de către plante decît nitriții și că aceștia sînt mai repede absorbiți decît nitrații.

Acest fenomen se explică prin aceea că azotul este inclus în procesele metabolice sub formă redusă și sursele oxidate de azot anorganic trebuie să sufere în prealabil o reducere.

Acest lucru a fost arătat clar de către V. S. Butkevici.

Butkevici a dovedit că plantele formează amoniac și că el constituie o etapă necesară în metabolismul substanțelor azotate, că plantele de lupin dacă se țin la întuneric, acumulează amoniac, care devine toxic. Tot Butkevici a mai dovedit că capacitatea plantelor de a absorbi amoniacul merge paralel cu formarea acizilor organici.

Cercetările lui Prianișnikov au dovedit definitiv că plantele asimilează la fel de bine sărurile amoniacale ca și pe nitrați, însă că condițiile utilizării depind de specia, vîrsta plantei, reacția mediului, capacitatea tampon a solului, aprovizionarea plantelor cu hidrați de carbon, prezența sau absența în sol a diferiților cationi și anioni etc.

În lucrările sale Prianișnikov atrage atenția, asupra folosirii sulfatului de amoniu $(NH_4)_2SO_4$ ca îngrășămînt care dintre sărurile de amoniu este puternic fiziologic acid. Această sare trebuie administrată în solurile cu reacție alcalină sau neutră, în cantități mai mici decît se administrează azotații. Cînd se administrează în solurile cu reacție acidă este necesar să se administreze în același timp și un amendament (calcar).

Este necesar să se respecte cu strictețe aceste recomandații întrucît plantele din această sare absorb mai repede cationul NH_4, decît anio-

nul SO_4, care acumulîndu-se în soluția solului, vatămă rădăcinile plantelor. Plantele prezintă semne de suferință.

De aceea este necesară administrarea de calcar, în solurile acide sărace în calcar, pentru ca ionii de calciu să înlăture toxicitatea celor de SO_4.

În ce privește nitriții și aceștia sînt folosiți de către plante în nutriția lor, însă în cantitate mică pentrucă sînt toxici. În sol nitriții se găsesc de obicei în cantitate mică ca produși intermediari ai nitrificării.

Plantele mai pot utiliza și azot organic, însă numai din acele forme solubile în apă și cu moleculă mică, cum sînt glicocolul, tirozina, leucina (aminoacizi), acizi humici, de asemenea asparagină, glutamină, metil și etilureea amide). Combinațiile organice azotate mai complexe nu sînt utilizate, deoarece rădăcinele plantelor nu pot absorbi astfel de substanțe.

Condițiile utilizării azotului amoniacal, azotului nitric și nitros din sol

Absorbția ionilor de NH_4^- și NO_3^+ din sol

Astăzi se știe că plantele pot folosi și sursa amoniacală și sursa nitrică, dar că datorită particularităților specifice unele plante utilizează cu un randament mai bun sursa amoniacală, altele sursa nitrică.

Datele adunate în literatura științifică arată că o condiție, pentru o bună asimilare a azotului, e ca plantele să fie aprovizionate cu hidrați de carbon. Această regulă însă nu se confirmă în toate cazurile. Cercetările lui Kațnelson arată că pătlăgelele roșii, absorb mai bine azotul din formele amoniacale, în prima perioadă de vegetație, deși n-au rezerve de hidrați de carbon.

Regula se aplică însă cînd în procesul de nutriție al plantelor azotul este luat sub formă nitrică. S-a mai constatat că plantele care conțin o cantitate mare de acizi organici absorb mai mult ionii de NH_4^+. De aici se deduce că plantele, la care raportul acizi organici/hidrați de carbon e în favoarea acizilor, absorb mai mult sărurile amoniacale, iar cele la care raportul hidrați de carbon/acizi organici este în favoarea hidraților de carbon absorb mai mult nitrații.

S-a mai dovedit că plantele care se nutresc cu nitrați formează în celulele corpului lor compuși oxigenați (acizi organici), iar cele care se nutresc cu săruri de amoniu formează compuși reductori (substanțe hidrocarbonate și derivații lor). Aceasta înseamnă practic că plantele care în primele faze de vegetație s-au nutrit cu azotați mai tîrziu au capacitatea de a absorbi mai bine formele amoniacale, iar plantele care au avut în primele faze de vegetație o nutriție amoniacală, pot să folosească în fazele mai tîrzii azotul nitric.

Sînt însă și plante, care pentru cea mai mare parte din perioada lor de vegetație, manifestă preferință pentru nutriția amoniacală, (cartoful, inul, meiul, orezul), iar altele pentru cea azotată (hrișca, rapița, dovlecii). Precizăm însă că această preferință este valabilă între limitele unui anumit pH (5; 5—6, 5).

În genere însă, plantele absorb în prima fază mai ales ionul amoniu $(NH_4)^+$, iar mai tîrziu, cînd plantele au atins o oarecare vîrstă, ionul NO_3^-. Dar, Prianișnikov mai arată că absorbția ionilor NH_4^+ și NO_3^- nu depinde numai de vîrsta plantelor, ci și de concentrația soluției nutritive Cu cît soluția este mai concentrată plantele absorb mai încet ionul NH_4^+ și mai repede pe cel de NO_3^-. Cînd concentrația soluției nutritive nu este prea mare, unele plante, de ex. ovăzul, absorb în tot cursul vegetației mai repede ionul NH_4^+, decît NO_3^-, cum se poate constata din tabelul Nr. 14.

Cantitatea de NH_4^+ și NO_3^- absorbită de ovăz în raport su vîrsta plantei

Tabel nr. 1 .

Absorbția azotului în decurs de 24 ore în mg	Vîrsta plantei în zile			
	40	60	80	90
NH_4	11,4	12,1	7,9	9,1
NO_3	9,9	6,3	4,1	4,8

D. N. Prianișnikov, V. I. Ivanova, D. A. Sabinin în lucrările lor, arată că optimum de absorbție a ionului NH_4^+ și NO_3^- depinde de pH-ul soluției solului, ori aceste optime diferă. Pentru ionii de NH_4^+ este aproape de neutru (pH=7), pentru ionii de NO_3^- este în mediu acid (pH=5,6 —5,5).

Cauzele care determină pătrunderea diferită a cationului NH_4 și a anionului NO_3, în raport de valoarea pH-ului, se datoresc în primul rînd intensității direcției proceselor biochimice, care au loc în plantă în legătură cu procesele creșterii și dezvoltării sub influența ionilor de H^+ sau OH^- și care duc în plante la formarea de acizi organici (reacție neutră sau alcalină) sau a substanțelor reductoare (reacție acidă).

Absorbția ionilor de NH_4^+ și NO_3^-, într-o mai mică măsură este influențată și de reacțiile de schimb, care au loc la suprafața rădăcinilor și de schimbarea sarcinei electrice a coloizilor de pe suprafața rădăcinilor în raport cu reacția mediului. La o valoare scăzută a pH-ului, coloizii reacționează ca elemente electropozitive și pot adsorbi mai mulți ioni de NO_3^- iar la o valoare ridicată a pH-ului, acționează ca elemente electronegative și adsorb într-o măsură mai mare ionii de NH_4^+ Cu toate acestea pătrunderea lor în plante nu e determinată numai de fenomenul de adsorbție, ci de concentrația în care ei se găsesc în soluție.

În pătrunderea ionilor de NH_4^+ și NO_3^-, o influență oarecare se atribuie modului deosebit de pătrundere, în rădăcinile plantelor, a ionilor de H^+ și OH^-. În mediu acid, ionii de hidrogen datorită concentrației lor mari sînt mai mobili și pătrund mai energic în rădăcină antrenînd odată cu ei și ionii de NO_3^-. Dimpotrivă, în mediu alcalin, ionii de OH^- fiind în concentrație mai mare pătrund mai energic și antrenează cu ei ionii de NH_4^+.

Absorbția ionilor de NH_4^+ și NO_3^-, este influențată și de prezența altor cationi și anioni în soluția solului. S-a stabilit că cationii monovalenți de K, Na și Cl, contribuie la o pătrundere mai mare a anionului NO_3 și mai mică a cationului NH_4. Dimpotrivă, cationii bivalenți, contribuie la o pătrundere mai mare a cationului NH_4 și mai mică a anionului NO_3. În prezența ambelor forme de azot (amoniacal și nitric) calciul favorizează absorbția cationului NH_4 și stînjenește absorbția anionului NO_3.

Azotul nitric și amoniacul pătruns în corpul plantelor este asimilat și transformat în aminoacizi și amide, apoi în proteine.

Cînd plantele folosesc, în procesul de nutriție nitrați, aceștia pentru a fi asimilați sînt mai întîi reduși în acid azotos (NO_2H) apoi în amoniac (NH_3). După cercetările lui D. A. Sabinin, Baslavskaia, Belousova, Scolander ș.a., reducerea nitraților sau a nitriților se produce în rădăcină, însă cum arată cercetările lui T. G. Nichtingale și ale lui Emerson (1931), are loc și în frunze și vîrfurile vegetative. Reducerea nitraților are loc cu consum de energie, pe care celulele plantelor și-o procură din oxidarea hidraților de carbon, în procesul respirației.

Amoniacul care rezultă din reducerea nitraților, pe măsură ce se formează, precum și cel care provine din sărurile de amoniu absorbite din sol, intră în combinație cu cetoacizii organici (acidul oxalil acetic,, acidul cetoglutaric, acidul piruvic etc.) și astfel se formează aminoacizii. Aminoacizii prin reacții de condensare succesive se transformă în substanțe proteice ce servesc la creșterea materiei vii (protoplasmei), sau sînt folosite în formarea de protoplasmă nouă.

Fixarea azotului molecular atmosferic de către unele bacterii ce trăiesc în sol

În soluri trăiesc liber, unele bacterii, care au însușirea de a folosi N_2 din atmosferă, pentru sintetizarea de substanțe organice azotate proprii.

Această însușire a fost dovedită experimental pentru prima dată de către chimistul Berthelot (1885). Ținînd sol, timp de 17 luni, în condiții naturale și sterilizat, dovedi că solul nesterilizat acumulează azot. S-a ajuns ulterior la concluzia că îmbogățirea solului în azot trebuie să fie determinată de către microorganismele ce trăiesc în sol.

Presupunerea aceasta a fost confirmată de către microbiologul rus S. N. Vinogradski (1895). El a pregătit o soluție nutritivă din glucoză, substanțe minerale, dar fără azot și după aceea a adăugat soluției puțin sol nesterilizat. După cîtva timp a constatat o fermentare butirică. Din cultură Vinogradski a izolat o bacterie anaerobă, care avea însușirea de a fixa azot molecular, pe care a denumit-o Clostridium Pasteurianum.

Scanned with OKEN Scanner

Clostridium Pasteurianum (fig. 24) utilizează ca sursă nutritivă hidrații de carbon din sol și trăiește în asociație cu alte bacterii aerobe, care absorbind oxigenul, creează acesteia un mediu lipsit de oxigen favorabil activității sale. La un pH de 5, 7—7, 3 această bacterie fixează pentru 1 g carbon 3—7 mg azot molecular.

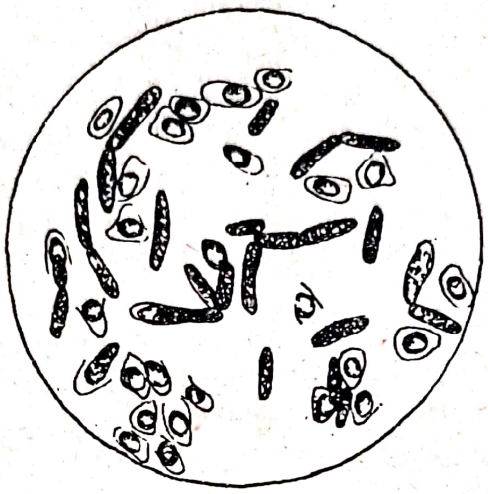


Fig. 24. Clostridium Pasteurianum. (Din Maximov).

Ulterior, Bijerinck (1901), microbiolog olandez, desciperi o altă bacterie, aerobă, dar fixatoare de azot molecular, pe care a numit-o Azotobacter chroococcum. Fig. 25). Această bacterie fixează pentru 1 g carbon 8—10 mg azot molecular, deci ea lucrează cu un randament mai mare. PH-ul optim pentru această bacterie este cuprins între 6—7. Această bacterie fixează o cantitate mai mare de azot pentrucă are la dispoziție o

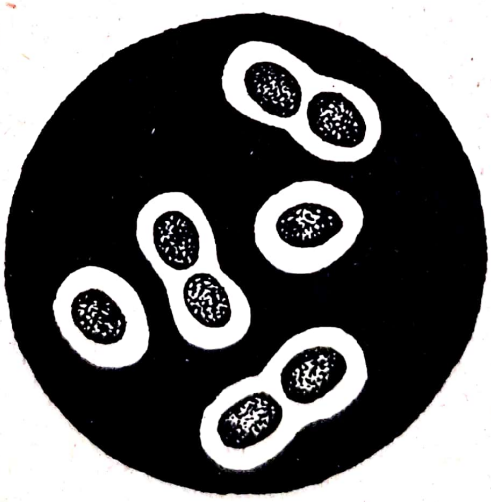


Fig. 25. Azotobacter chroococcum. (Din Skazkin).

cantitate mai mare de energie, decît Clostridium Pasteurianum. Energia și-o procură din oxidarea completă a zaharurilor pînă la CO_2 și apă. Clostridium deoarece nu este capabil să determine o oxidare completă a zaharurilor, ci numai pînă la acidul butiric, pune în libertate o cantitate

mai mică de energie. De aceea această bacterie fixează o cantitate mai mică de azot molecular.

Azotobacter, deobicei trăiește în soluri, ape, în simbioză cu alge (albastre sau verzi).

Alga produce zaharuri de care bacteria are nevoie, iar bacteria produce azot combinat pe care îl trece algei.

Se mai cunosc și alte specii de Azotobacter libere, care fixează azot molecular. (Azotobacter agile, Azotobacter Beijerincki etc.).

Dintre ciuperci, numai la puține s-a putut stabili că asimilează azot molecular. Dintre acestea fac parte ciupercile saprofite Aspergillus niger și Penicillium glaucum și ciuperca parazită Phoma betae, care parazitează rădăcinile de sfeclă.

Condițiile pentru fixarea de azot molecular de către aceste microorganisme sînt următoarele: a) O sursă de carbon combinat, care poate fi reprezentată prin hidrați de carbon și chiar materii humice; b) substanțele minerale necesare și în special acidul fosforic și carbonatul de calciu; c) aerisire; d) o temperatură convenabilă cuprinsă între 20-30°C. După calculele celor mai mulți cercetători 1 ha de sol acumulează de pe urma asimilării azotului molecular de către microorganismele libere ce trăiesc în sol 20—40 kg pe an.

Asupra mecanismului de fixare a azotului molecular de către microorganisme prima ipoteză a fost emisă de Vinogradski. Acest microbiolog arată că azotul molecular se unește cu hidrogenul ce rezultă mai ales în urma fermentației butirice dînd naștere la amoniac (NH_3), care unindu-se apoi cu anumiți compuși organici neazotați (acizi), dă naștere la aminoacizi.

$$N_2 + 3\,H_2 \dashrightarrow 2\,NH_3 + \begin{matrix} R \\ | \\ CH \\ | \\ COOH \end{matrix} \dashrightarrow \begin{matrix} R \\ | \\ HC.NH_2 \\ | \\ COOH \end{matrix}$$

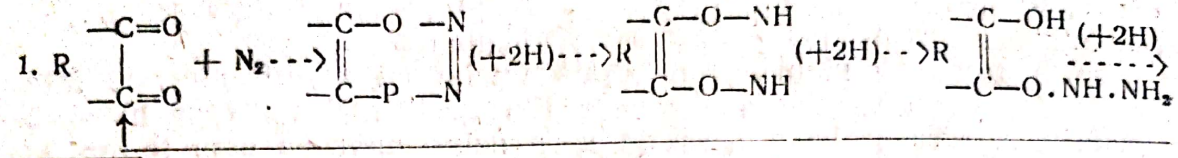
Ulterior s-a stabilit că această reducere cu hidrogenul molecular, care ar fi catalizată de către o hemină, nu-i posibilă. De aceea S. Kostîcev (1932), a emis părerea că reducerea azotului molecular se face de către hidrogenul activat, conform reacției:

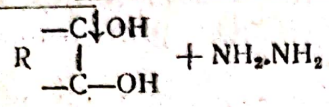
$$N_2 + \left[\text{Hidrogen activat al substanțelor organice}\right] \underset{\text{fermenți, dezaminare}}{\overset{\text{Produse inițiale de creștere}}{\dashrightarrow NH_3 \dashrightarrow}} \left[\text{Azotul substanțelor organice al protoplasmei}\right]$$

După S. Kostîcev reducerea se face în afara celulelor bacteriei.

M. V. Fedorov (1948), adăugînd doze mici de aldehide în mediul de cultură al bacteriei Azotobacter, a găsit în celule un catalizator ce conține în el grupări carbonilice libere capabile să ia parte la fixarea azotului liber din aer. Prin adăugarea de aldehide mediului de cultură o parte din azotul fixat se acumulează în substrat.

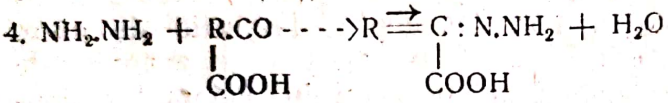
După M. V. Fedorov, N_2 reacționează cu catalizatorul prin oxigenul grupărilor carbonilice și dă naștere la produse inițiale de fixare a azotului de tipul hidrazinelor, conform reacției:

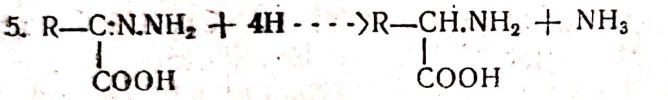




2. $NH_2.NH_2 + 2H \dashrightarrow 2NH_3$

3. $NH_2.NH_2 + H_2O \dashrightarrow NH_3 + NH_2OH$





După cum rezultă din reacții, în condiții aerobe, cum este cazul lui Azotobacter, azotul molecular poate da naștere la produse de tipul hidrazinelor, care prin unirea cu hidrogenul să dea naștere la amoniac sau prin unirea cu apa la hidroxilamină (NH_2OH). Substanțele de tipul hidrazinelor pot intra direct în recție cu cetoacizi organici și să dea naștere la acizi aminici. Hidroxilamina poate intra și ea în reacție cu cetoacizii organici și să dea naștere la diferiți compuși organici azotați.

În această reacție, după cum arată M. V. Fedorov nu este nevoie de cheltuială de energie.

Fixarea azotului molecular de către bacterii și ciuperci simbiotice

În sol, trăiesc bacterii și ciuperci fixatoare de azot molecular, în simbioză cu rădăcinile plantelor superioare.

Această simbioză este bine studiată la plantele leguminoase, datorită faptului că aceste plante au mare însemnătate în agricultură.

Încă din antichitate scriitorii, Virgilius și Plinius au atras atenția că cerealele dau recolte mai bune dacă se cultivă în urma unei culturi de leguminoase. Ei cunoșteau că plantele leguminoase (lucerna, trifoiul, măzărichea ș.a.), ameliorează solul și de aceea ei recomandau să nu se administreze solului îngrășăminte după aceste plante deoarece nu este nevoie.

În evul mediu această însușire a plantelor leguminoase era de asemenea cunoscută, însă modul cum ele ameliorau solul n-a fost cunoscut decît mai tîrziu, la începutul secolului al 19-lea.

La începutul secolului, unii învățați, susțineau părerea că ameliorarea solului de către leguminoase este determinată de sporirea azotului. Cauza acestei sporiri însă n-a putut fi dovedită decît în cea de a doua jumătate a secolului. În acea vreme se bănuia că sporirea azotului ar fi determinată de asimilarea de către leguminoase de azot molecular. Acea-

stă presupunere însă a fost părăsită în urma experiențelor lui Boussingault (1851).

El a ales un sol nisipos (sărac în azot) și l-a calcinat pentruca să elimine azotul organic și mineral. A pus solul în ghivece și l-a însămînțat cu plante neleguminoase și leguminoase.

A constatat că plantele, îngrășate numai cu săruri minerale fără azot, nu se dezvoltă. La analiza lor n-a găsit nici un spor în azot. Numai la mazăre și trifoi găsi un spor neînsemnat pe care îl explică prin aceea că poate aceste plante au absorbit amoniac prin frunze, din atmosferă.

De aici a tras concluzia că toate plantele fără excepție nu utilizează azot liber din aer. Experiențele lui Boussingault fură controlate și confirmate și de alți cercetători. Toți au ajuns la concluzia că leguminoasele nu asimilează azot molecular din aer. Această contradicție între știință și practică a fost pe deplin lămurită de către cercetătorii Hellriegel și Wilfarth (1886). Ei au găsit juste experiențele lui Boussingault, însă arată că dacă se adaugă solului calcinat o cantitate mică de sol necalcinat leguminoasele cresc și se dezvoltă bine, pe cîtă vreme neleguminoasele nu se dezvoltă de loc. Această experiență arată necesitatea microorganismelor în viața leguminoaselor. Examinînd îndeaproape rădăcinele leguminoaselor au observat prezența

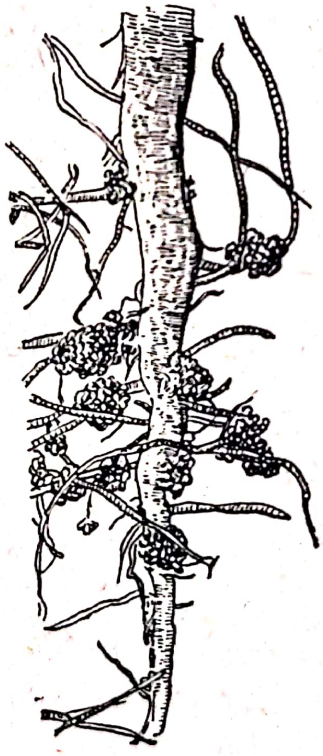


Fig. 26. Rădăcină de lucernă cu nodozități. (Din Isain).

unor umflături (nodozități) mici și au pus asimilarea azotului molecular pe seama acestor nodozități. (Fig. 26). În urma experiențelor lui Hellriegel s-a văzut clar cauza pentru care Boussingault nu putuse constata surplusuri de azot fixate de către leguminoase; el experimentase cu soluri sterile și măsurile luate de dînsul, făceau imposibilă in-

fecția de către microorganisme. După ce lucrările lui Hellriegel și Wilfarth au fost cunoscute, un mare număr de cercetători s-au ocupat de această problemă. Se găsi că nodozitățile diferă în ce privește forma și mărimea, locul unde se inseră pe rădăcini, că nodozitățile din punct de vedere anatomic sînt rădăcini secundare modificate și posedă un țesut cortical parenchimatic, și fascicole de vase (fig. 27 A, B), care sînt în legătură cu fascicolele de vase ale rădăcinii principale. Parenchimul cortical al nodozităților are celule mari și în aceste celule s-au găsit niște formațiuni cu forme diefrite de X, Y, T de culoare albă (Fig. 27 C). Borodin a fost acela care a presupus că aceste formațiuni sînt bacterii deformate. Dovada a făcut-o microbiologul Beijerinck (1888—1894). A însămînțat aceste formațiuni pe medii și a obținut o cultură pe care a numit-o Bacillus radicicola, care ulterior s-a numit Rhizobium legumiosarum.

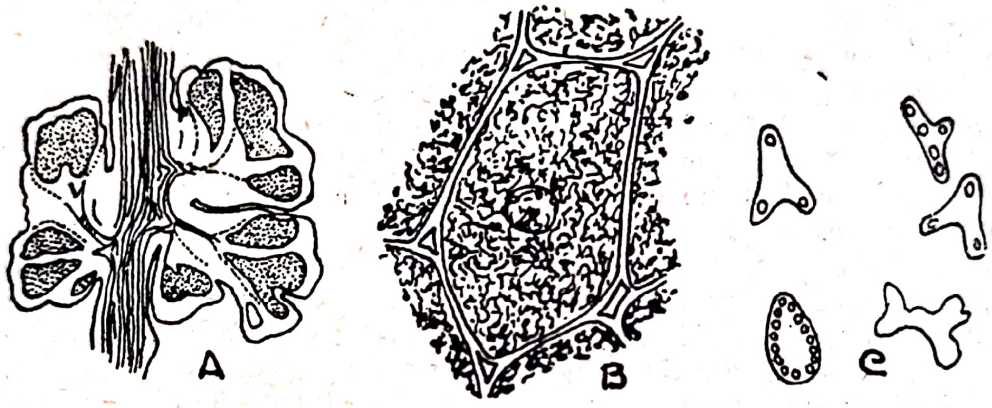


Fig. 27. Secțiune longitudinală printr-o nodozitate (A); celulă din parenchimul nodozității cu bacteria Rhizobium (B); Bacteroide (C). (Din Isain).

Prazmovski (1890) a studiat modul cum are loc pătrunderea acestei bacterii din sol în rădăcina leguminoaselor. În sol, bacteria în stare tînără, se prezintă sub formă de bastonașe ce poartă flageli. Pătrunderea lor are loc prin perișori radiculari.

Înainte de a pătrunde în perișorul radicular are loc o aglomerare a bacteriei, într-un anumit punct al părului. Acesta secretă o enzimă, care dizolvă membrana părului și pătrunde în protoplasmă. Pătrunsă în

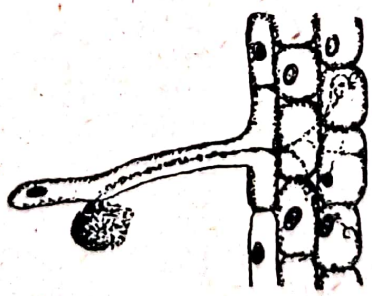


Fig. 28. Pătrunderea bacteriei Rhizobium în părul radicular. (Din Isain).

păr se înmulțește foarte mult, formează o masă gelatinoasă, ca să se apere de acțiunea antitoxică a protoplasmei, înaintează sub forma unui cordon bacterian (Fig. 28) spre baza părului, intră în parenchimul cortical, digerînd membranele celulozice ale acestora și ajunge

pînă în apropierea endodermului. Celulele parenchimului cortical în care a pătruns bacteria sînt excitate și se divid foarte mult formînd o tumoare.

Din diviziunea aceasta se formează tocmai nodozitatea. După aceea celulele nodozității cresc în volum, apoi nodozitatea se pune în legătură cu vasele de lemn și liber din rădăcină. În ele se stabilește apoi bacteria (în protoplasmă) unde se înmulțește în mare măsură.

După cercetările lui R. Schade (1943), după cîtva timp bacteria din protoplasma celulelor corticale își schimbă înfățișarea, prin metamorfozare, în bacteroide. Această metamorfoză este un indiciu al degenerării bacteriei. Bacteria este descompusă proteolitic de către celulele rădăcinii plantei leguminoase și conținutul lor este utilizat de către aceasta.

În regiunea noastră infectarea rădăcinii leguminoaselor are loc mai ales primăvara. Vara infectarea se produce mai greu. De asemenea infectarea se face deabia după ce planta tînără a dezvoltat una sau mai multe frunze. Infectarea se poate face și artificial, inoculînd la o leguminoasă conținut luat din nodozitatea unei alte plante leguminoase.

Subliniem însă că reușesc infectările numai între plante înrudite. Bacteria din nodozitățile de mazăre poate infecta rădăcinele de trifoi și lucernă și invers, dar nu poate infecta pe cele de bob, lupin, linte sau alte leguminoase.

Astfel de experiențe au dus la concluzia că bacteria Rhizobium leguminosarum, se prezintă în diferite rase specifice pentru diferite leguminoase sau grupe de leguminoase, care se deosebesc prin formă, însușirile fiziologice, durata generației etc.

Pînă în prezent se cunosc 16 rase, dintre care pentru agricultură prezintă importanță următoarele: bacteria pentru lucernă, sulfină, Medicago lupulina, Medicago sativa, Melilotus albus, Trigonella foenum graecum; 2) bacteria pentru trifoi (Trifolium pratense, Trifolium repens, Trifolium incarnatum și Trifolium hybridum); 3) Bacteria pentru mazăre, măzăriche, latir, sîngele voinicului, Vicia sativa, Lathyrus; 4) Bacteria pentru fasole; 5) Bacteria pentru lupin (Lupinus luteus, L. perenis, L. angustifolius, etc. și Ornithopus sativus; 6) Bacteria pentru bob (Vicia faba); 7) Bacteria pentru ghizdei (Lotus corniculatus, Anthyllis vulneraria); 8) Bacteria pentru sparcetă; 9) Bacteria pentru coroniște (Coronilla); 10) Bacteria pentru salcîm, Arachis; 11) Bacteria pentru Caragana etc.

Bacteria Rhizobium leguminosarum a fost studiată anevoie, căci ea trăiește și-n sol. În sol, în decursul vieții, bacteria ia diferite forme. La început are forma rotundă și cu un cil, mai tîrziu se alungește și are mai mulți cili, apoi pierde cilii și devine imobilă.

Infectarea leguminoaselor se face sub forma de bacil, însă toate formele amintite se găsesc și-n interiorul nodozităților.

Felul de viață pe care îl duce bacteria și leguminoasa este o simbioză; leguminoasa aprovizionează bacteria cu zaharuri, apă, iar bacteria pune la dispoziția leguminoasei azot combinat. Simbioza dintre bacteria Rhizobium și rădăcinile leguminoaselor nu este perfectă.

Deși ele conviețuiesc, fiecare caută să-și ducă o viață proprie. Bacteria caută să se înmulțească cît mai mult absorbind zaharuri de la leguminoasă. Față de leguminoasă bacteria se comportă ca un parazit,

Scanned with OKEN Scanner

de aceea simbioza dintre Rhizobium și rădăcinele plantelor leguminoase este considerată ca un caz particular al parazitismului.

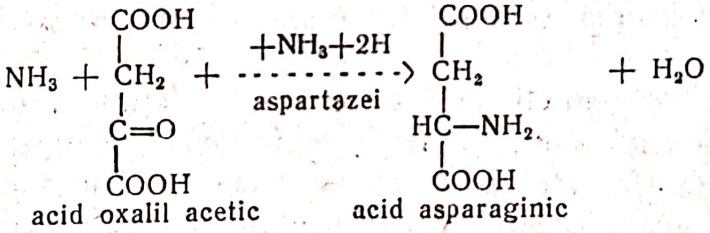
Că așa stau lucrurile, ne-o dovedește faptul că bacteria odată pătrunsă în rădăcină provoacă o oprire temporară a creșterii leguminoasei. Din momentul pătrunderii bacteriei în rădăcină și pînă cînd apar nodozitățile, planta leguminoasă tînjește, apoi pe măsură ce acestea aprovizionează planta cu azot, ea crește tot mai bine. De aici se deduce că bacteria se comportă ca un parazit și nu planta leguminoasă. Nodozitățile se formează la plantele leguminoase mai ales unde azotul combinat e în cantitate mică. Cînd solul este bogat în azot combinat, se formează puține nodozități, deoarece bacteria nu poate suporta sărurile de azot.

Dovezi directe privitoare la fixarea și asimilarea azotului molecular de către leguminoase prin intermediul bacteriei Rhizobium sînt puține, din care cauză fenomenul nu poate fi considerat ca fiind complet lămurit. Totuși, după cercetările mai noi se crede că fixarea azotului molecular de către Rhizobium s-ar face după schema:

$$2N_2 + 6H_2O \xrightarrow[\text{dehidrogenează}]{} 4\,NH_3 + 3O_2$$

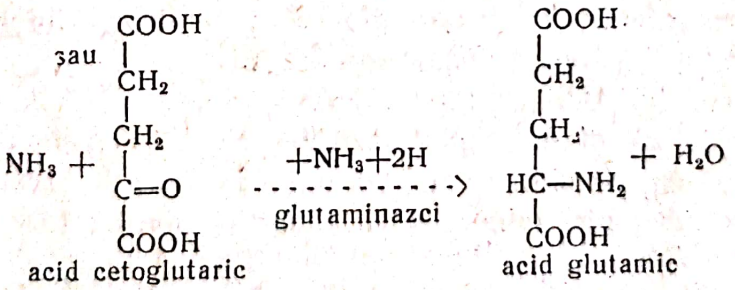
Amoniacul ce rezultă, o parte este luat de bacterie pentru celulele proprii, iar altă parte se unește cu apa sau diferiți acizi organici, formîndu-se hidroxid de amoniu:

$$NH_3 + H_2O \longrightarrow NH_4OH \quad \text{sau}$$

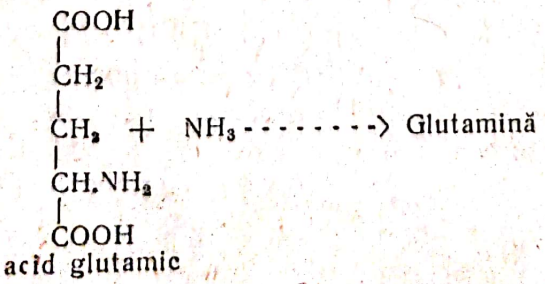


acid oxalil acetic — acid asparaginic

Acidul asparaginic prin combinarea cu amoniac dă naștere la asparagină ($CO\text{-}NH_2CH_2\text{-}CH\text{-}NH_2\text{-}COOH$).



acid cetoglutaric — acid glutamic



acid glutamic

Asparagina și glutamina ce rezultă iau parte activă la procesele de metabolism. Se crede că după această schemă s-ar face și fixarea azotului molecular de către bacteriile libere din sol. S-a dovedit că din nodozități se pune în libertate acid aminic, iar prin atomii marcați (N^{15}) s-a stabilit că cea mai mare parte din azotul marcat absorbit de către Rhizobium este legat cu acidul glutamic.

Un fapt deosebit de important îl constituie punerea în evidență, în nodozitățile plantelor leguminoase a unor substanțe asemănătoare hemoglobinei din sînge. Probabil că aceste substanțe au nu rol deosebit în metabolismul bacteriilor și al nodozităților și deci și în procesele biochimice de fixare a azotului.

Prin activitatea bacteriei Rhizobium, solul se îmbogățește anual cu o cantitate de 40—180 kg/ha.

Corelații dintre plantele superioare și microflora solului

Utilizarea substanțelor organice în nutriția plantelor

Diferitele teorii privind nutriția plantelor verzi (teoria Hugo de Vries, L. Guénot, A. E. Paar, St. G. Mivart ș.a.) susțin că sinteza compușilor organici în plante se face prin asimilarea elementelor minerale și prin folosirea substanțelor organice formate exclusiv în corpul plantelor.

A admite că plantele asimilează numai forme minerale, care au întotdeauna aceeași cantitate de energie folosind totodată substanțele organice sintetizate, este greu să ne imaginăm cum au putut evolua plantele, cum au putut apărea forme organice noi și care au fost procesele complexe, ce au declanșat aceste modificări. A exclude substanțele organice din nutriția plantelor, care reprezintă forme superioare de energie acumulată, din hrana plantelor, limitează interpretarea proceselor de evoluție și de transformare la plante.

Experiențele lui Böhm (1883), Laurent (1897), Palladin (1901) și ale altora, arată că plantele pot absorbi prin rădăcinele lor zaharurile. Mazé (1904), experimentînd cu porumb ale cărui rădăcini se aflau în soluții de substanțe minerale și zaharuri sterilizate și apoi ținute aseptic, a constatat o dezvoltare mai puternică a plantelor față de cele martore care au fost cultivate în soluții nutritive fără zahăr.

In experiențele făcute între anii 1911—1913, G. G. Petrov, arată că porumbul cultivat în soluții nutritive minerale sterile ce conțineau ca sursă de azot asparagină, aminoacizi, peptone, asimilează aceste substanțe, dar într-o măsură mai mică decît azotul mineral din nitrați.

Pavlovschi Gh. și Groza M. (1947) arată că grîul care a fost pus la germinat pe sol bogat în substanță organică a acumulat o cantitate

mai mare de vitamină E, decît grîul ce a germinat pe un sol sărac în substanță organică. Autorii n-au pus în evidență ce substanțe au luat plantele din sol și a dus la sintetizarea vitaminei E, însă experiențele arată că grîul capătă o însușire nouă numai prin schimbarea mediului nutritiv.

N. G. Holodnii (1939), a demonstrat experimental că porumbul absoarbe diferiți compuși organici volatili secretați de microorganismele din sol sau rezultați din descompunerea substanțelor organice din sol. De asemenea Holodnii arată influența compușilor absorbiți asupra creșterii rădăcinilor.

Vlasiuk (1953) arată că îngrășămintele organice ce conțin compuși biologici simpli de tipul biotinei, aneurinei și a aminoacizilor sînt absorbite de plante direct.

Cercetătoarea sovietică L. A. Hristea (1955), dovedește că acizii humici din sol sînt direct absorbiți de către plante și că ei participă la reacțiile acido-reductoare din celule, că intensifică activitatea sistemelor enzimatice oxidante a celulelor (fenolazelor, polifenoloxidazei, peroxidazei).

În felul acesta ei participă la procesele sintetice din plante, care sînt legate de transformarea energiei, cum este eliberarea de hidrogen, necesar proceselor de oxido-reducere. Aceasta are drept urmare o intensificare a proceselor metabolice, ceea ce duce la o mai bună folosire a oxigenului din aer și a substanțelor minerale din sol. Eficiența fosforului, cînd plantele sînt bine aprovizionate cu azot, crește în prezența acizilor humici, etc.

Pe baza datelor existente, se poate considera că plantele în afară de substanțele minerale, care constituie sursa principală de hrană în nutriția radiculară, utilizează și unele substanțe organice, care reprezintă o formă superioară de energie acumulată, ce servește acestora în procesele de dezvoltare.

Printre plantele superioare verzi, există unele care folosesc în nutriția lor azot proteic .Ele capturează insecte pe care le digeră cu ajutorul enzimelor proteolitice.

Aminoacizii rezultați difuzează în țesuturile plantei unde sînt utilizați în sintetizarea de substanțe proteice proprii corpului lor.

Aceste plante numite insectivore sau carnivore, trăiesc de regulă pe soluri turboase, acide, foarte sărace în compuși ai azotului.

Rolul microorganismelor din sol în nutriția plantelor

Nutriția plantelor nu trebuie considerată ca un simplu proces chimic, ci ca un proces biologic. În sol trăiesc liber, bacterii, ciuperci, actinomicete, alge, protozoare etc. Aceste microorganisme sînt într-o continuă refacere. Mereu apar celule-indivizi, care cresc, se înmulțesc și mor și locul lor este luat de alți indivizi.

În cursul vieții lor microorganismele prelucrează cantități mari de substanțe organice și anorganice. Între aceste microorganisme din sol și nutriția plantelor verzi, există o strînsă corelație

N. A. Krasilnikov (1953—1954), arată că în jurul rădăcinilor plantelor se adună microorganisme diferite datorită excreţiunilor radiculare şi exfoliaţiunilor acestora, în special în zona perişorilor absorbanţi. În zona rizosferei se dezvoltă o floră microbiană, care este proprie fiecărei specii de plantă, datorită particularităţilor specifice de secreţie a rădăcinilor.

Bogăţia solului în substanţe minerale (fertilitatea rizosferei) este strîns legată de activitatea acestora. Prin activitatea lor ele contribuie la pregătirea hranei. La această pregătire contribuie bacteriile amonificatoare, bacteriile nitrificaţiei, fosfobacteriile, sulfobacteriile, ferobacteriile şi multe alte bacterii şi ciuperci. Aceste microorganisme sînt legate printr-o necesitate vitală de secreţiunile sistemului radicular. Se cunosc plante superioare care secretă prin rădăcini, în mediul exterior o serie de enzime foarte active, care contribuie la eliberarea hranei sub formă asimilabilă din formele minerale şi cele organice neasimilabile, pe care le folosesc şi microorganismele. La rîndul lor rădăcinile sînt legate de aceste microorganisme, care datorită diferitele enzime ce le elaborează transformă diferite substanţe minerale şi organice în forme asimilabile de către planta verde.

După cercetările lui N. A. Krasilnikov, unele microorganisme au o acţiune activitatoare asupra creşterii plantelor prin produsele activităţii lor biologice, prin substanţele biotice care le elaborează (vitamina B_1, B_2, B_6, B_{12}, biotină (vitamina H), auxine, acid nicotinic, acid pantotenic şi alte substanţe.

Însă în sol există şi microorganisme inhibitoare, care stînjenesc creşterea plantelor, probabil prin produsele activităţii lor biologice, care acţionează ca adevărate toxine.

Toxicitatea solurilor cultivate timp îndelungat cu trifoi, in, ridiche etc. se datoreşte în mare parte produşilor activităţii microorganismelor inhibitoare, dar şi substanţelor toxice secretate de către rădăcinile plantelor.

Această toxicitate se poate înlătura prin simple arături sau prin simpla acţiune a temperaturilor scăzute sau ridicate (60°—80° C), deoarece aceste substanţe sînt, în genere, nestabile şi se distrug relativ repede.

N. Sălăgeanu şi H. Chirilei (1950) arată că tratamentul termic prealabil a solului brun-roşcat de pădure, cernoziomului ciocolat, a cernoziomului castaniu la temperatura de 80—120°C, are o acţiune favorabilă pentru creşterea şi dezvoltarea plantelor, iar tratamentul termic al podzolului, are o acţiune defavorabilă.

Asupra nutriţiei plantelor verzi cu substanţe nutritive din sol, are o mare importanţă şi antagonismul microorganismelor. Între diferitele genuri şi specii de microorganisme există o concurenţă pentru hrana organică şi anorganică şi uneori ele pot fi concurente serioase chiar pentru planta verde, mai ales pentru fosfor.

De aici revin practicei o serie de sarcini importante. Să asigure condiţii favorabile dezvoltării activităţii microorganismelor prin asolamente, rotaţia culturilor, lucrările raţionale ale solului, aplicarea îngrăşămintelor.

Referitor la aplicarea îngrăşămintelor, nu trebuie să se creadă, că dacă se aplică independent de activitatea microorganismelor, nu ar fi asi-

Scanned with OKEN Scanner

mîlate de către plantele verzi. Dovada o avem în experiențele făcute cu soluții nutritive în condiții sterile.

Plantele asimilează azotul și alte substanțe minerale în absența totală a microorganismelor. Este greșită părerea că substanțele minerale nutritive n-ar pătrunde în plante sub forma sub care au fost introduse sau se găsesc în sol .

Un rol important în nutriția plantelor îl au și ciupercile care trăiesc în simbioză cu rădăcinile plantelor vezi.

În afară de simbioza dintre rădăcinile leguminoase și bacteria Rhizobium despre care s-a vorbit, rădăcinile multor plante lemnoase și ierboase trăiesc în simbioză cu miceliile unor ciuperci fără însă să se constate decît foarte rar apariția de tumori.

Această simbioză este cunoscută sub numele de micoriză.

Se constată micorize la ordine întregi din încrîngătura Bryophytelor, (Muscineelor) din încrîngătura Pteridophytelor (Ferigelor), din subîncrîngătura Gymnospermelor. S-au constatat micorize și la plantele din

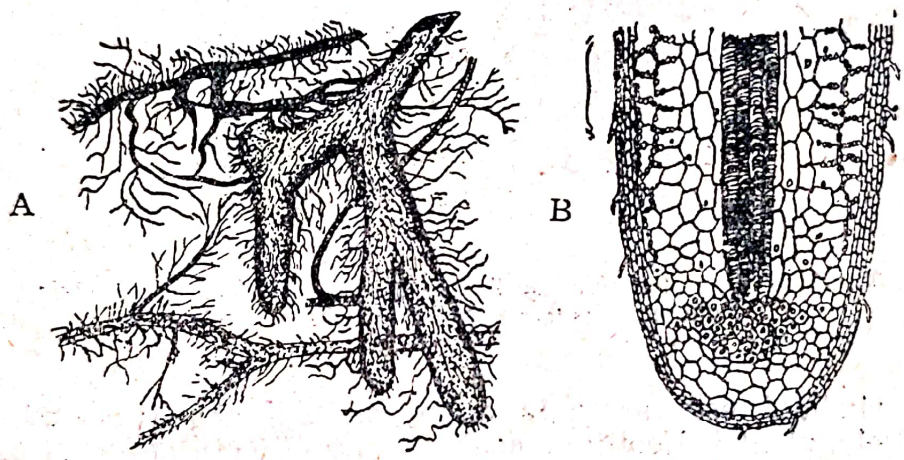


Fig. 29. Micoriză ectotrofă la rădăcina de pin (Pinus silvestris) A. O parte din miceliile ciupercii pătrunse între celulele periferice ale parenchimului cortical al rădăcinii — (B) —

subîncrîngătura Angiosperme, la familiile Orchidacee, Liliacee, Salicacee, Betulacee, Fagacee etc. Micorize se constată și la unele plante de cultură: grîu ,ovăz, porumb, in, sfeclă, trifoi, lucernă, ceapă, praz și alte plante.

Unele micorize sînt ectotrofe, cu miceliul dezvoltat pe suprafața rădăcinilor tinere, ca un manșon de pîslă deasă (Fig. 29), cum se pot vedea la numeroase conifere (molid, pin), la stejar, fag, carpen și alți arbori din pădure. Din manșonul extern de miceliu străbat unele filamente și în interiorul rădăcinei, însă acestea rămîn cantonate în scoarța externă, unde se infiltrează în spațiile intercelulare.

Rădăcinile asociate cu miceliul, rămîn mult mai scurte decît cele normale, se ramifică bogat, dar nu formează perișori absorbanți. Rolul perișorilor absorbanți este îndeplinit de către numeroasele filamente ale miceliului, care străbat solul în toate direcțiile.

Alte micorize sînt endotrofe. Miceliul se dezvoltă numai în interiorul rădăcinilor, rămînînd cantonat în primele două straturi periferice ale

scoarței unde se îngrămădește sub forma unui ghem, în interiorul celulelor. (Fig. 30). Funcția de absorbție a apei și substanțelor nutritive este îndeplinită de către unele filamente care se răspîndesc în sol. Micorize endotrofe se întîlnesc la Arin (Alnus), Pirola, Calluna, Vaccinium, unele graminee (Molinia coerulea, Nardus stricta la diferite Getianacee, Orchidee.

Este foarte interesant cazul orchideelor. Aceste plante făcînd semințe foarte mici, cu embrionul redus numai la un mic grup de celule și fără rezerve de hrană, nu pot germina singure, pe substrate sterile.

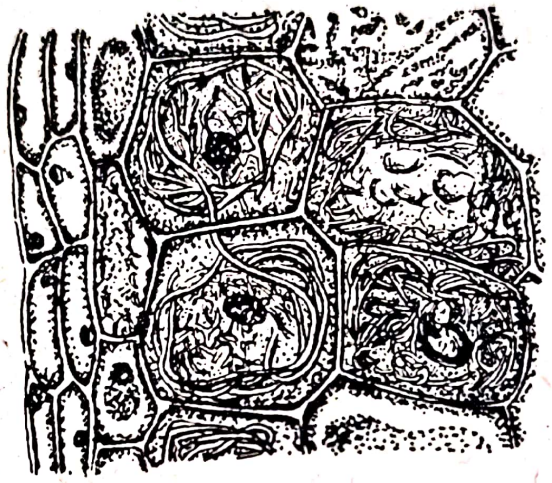


Fig. 30. Micoriză endotrofă. Localizarea ciupercii în celulele rădăcinilor orchideei Neottia nidus avis. (După Kny).

Bine studiată este asociația dintre miceliul ciupercii Orcheomyces și rădăcinele plantei Neottia nidus avis, care crește prin pădurile de foioase. În solurile acide din pădure, semințele acestei plante sînt invadate de miceliul ciupercii, care aprovizionează planta cu apă și substanțe nutritive minerale și hidrați de carbon. În lipsa acestei asociații, Neottia nu se dezvoltă. De aici se deduce că ea se comportă față de ciupercă ca un parazit. Nu este însă vorba de un parazitism tipic. Caracterul parazitar al miceliului ce invadează rădăcinele de Neottia a fost pus în evidență de Noël Bernard. Acest cercetător a găsit că micelul este oprit de a pătrunde mai profund în rădăcină de un adevărat *„baraj protector"*, ce apare în a doua pătură de celule corticale. În prima pătură, miceliul se dezvoltă foarte bine, dar în a doua este distrus și digerat.

Dovada experimentală că rădăcinile plantei se opune pătrunderii ciupercii a făcut-o tot Noël Bernard și Magrou.

Ei au luat trei eprubete și în fiecare a pus un mediu nutritiv propriu dezvoltării ciupercilor pe care l-a solidificat cu puțin agar-agar. Pe fundul unei eprubete a pus o porțiune din tuberculul unei Orchidee, în alta nu a pus nimic, iar în alta a pus o bucată de tubercul încălzit la temperatura de 55°C. Deasupra mediului solid a însămînțat miceliul ciupercii Rhizoctonia. După citva timp au constatat că în eprubeta unde nu s-a pus tuberculul, hifele ciupercii se alungesc și ajung

pînă la fund. În eprubeta în care se află porțiunea de tubercul neîncălzită miceliul înaintează pînă la oarecare distanță de tubercul, iar în cea în care s-a pus tubercul încălzit miceliul ajunge pînă la fund. (Fig. 31). Din această experiență a tras concluzia că tuberculul neîncălzit de Orchidee emite anticorpi, care barează pătrunderea mai departe a miceliului ciupercii.

În eprubeta cu tubercul încălzit, deoarece nu se emit anticorpi miceliul pătrunde pînă în fundul eprubetei, ca și în cea în care nu s-a pus de loc tubercul.

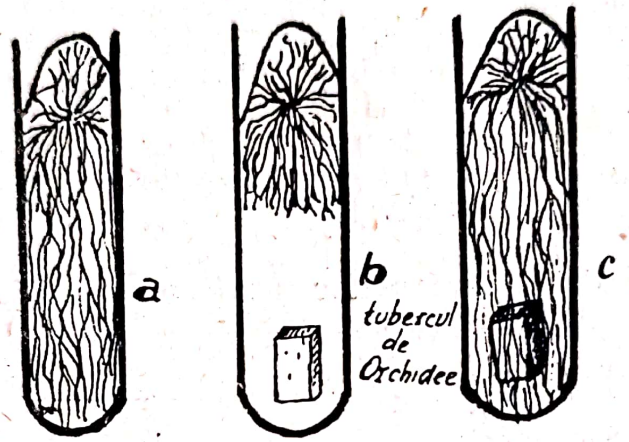


Fig. 31. Experiența lui Noël Bernard și Magrou: a = eprubetă cu miceliu pe un mediu de cultură gelificat; b = fragment de tubercul proaspăt, fără a fi încălzit în prealabil; c = fragment de tubercul încălzit la 55°C. (După Magrou).

La Orhideele verzi, micoriza poate fi considerată o simbioză tipică, însă la Neottia, care este o saprofită asociată cu ciuperca Orcheomyces tot saprofită, micoriza poate fi considerată ca un caz particular de saprofitism.

Asociația dintre Orchidee și miceliile unor ciuperci merge așa de departe încît semințele lor nu germinează, dacă nu sînt infectate. De pe urma acestei asociații plantele profită.

Orchideea este aprovizionată cu apă și substanțe minerale nutritive din sol, iar ciuperca se aprovizionează cu zaharurile din rădăcina Orchideei.

Se crede că micorizele ar avea și rolul de a fixa azotul liber din aer, însă acest lucru nu s-a dovedit încă.

Ritmul consumului elementelor nutriției minerale în diferite perioade din viața plantelor

Necesitățile plantelor în substanțe minerale nutritive, sînt variate în diferitele etape de creștere și stadii de dezvoltare. În legătură cu acest consum al substanțelor nutritive trebuie să distingem în viața plantei: 1) perioada critică a nutriției cînd insuficiența sau lipsa substanțelor minerale, are o acțiune dăunătoare asupra creșterii și dezvoltării; 2) perioada consumului maxim, cînd plantele iau din sol cantitatea cea mai mare dintr-o anumită substanță.

La cele mai multe plante anuale majoritatea substanțelor nutritive necesare creșterii și dezvoltării sînt absorbite pînă la înflorire. Perioadele critice, de obiceiu, cad în primele faze de vegetație, iar ale consumului maxim corespund cu fazele mai tîrzii. La unele plante, cele cu perioada scurtă de vegetație (de ex. orzul de primăvară) perioadele se situiază foarte aproape una de alta, în faza creșterii vegetative. La alte plante, unele specii de pomi fructiferi, perioadele critice și de consum maxim se situiază pe la mijlocul ciclului anual de vegetație.

La grîul de toamnă și secara de toamnă, (cu întreruperea din timpul iernii), perioada de nutriție durează 6 luni. Perioada critică începe în momentul înfrățirii, iar a consumului maxim în faza înfrățitului și împăierii-înspicării, cînd aproximativ 70% din totalul azotului, fosforului și potasiului se consumă. De această fază de înfrățire-înspicare trebuie legată nutriția suplimentară a cerealelor de toamnă. Mersul nutriției cu azot, fosfor și potasiu, la grîul de toamnă se poate vedea din tabelul Nr. 15 după M. S. Savițki.

Mersul asimilării substanțelor nutritive la grîul de toamnă în % față de cantitatea totală

Tabel nr. 15

Faza de vegetație	N	P_2O_5	K
Înfrățire	49,6	31,2	45,6
Începutul înspicării	70,0	64,0	72,1
Sfîrșitul înspicării	80,5	85,5	96,9
Înflorire	95,5	97,7	100,0
Începutul coacerii	100,0	96,5	97,3
Maturitatea completă	95,2	100,0	95,6

M. S. Savițki arată că de la semănat la înfrățire, nutriția de azot este moderată, nutriția cu fosfor redusă, iar cu potasiu ridicată.

Secara de toamnă asimilează cantitatea cea mai mare de substanțe nutritive în primele faze.

La cerealele de primăvară (grîu, orz, ovăz), perioada critică a nutriției începe la înfrățire, iar a consumului maxim în faza de burduf și ține pînă la înspicare. Perioada eficienței maxime este la începutul formării paiului.

La orz, perioada de consum maxim este scurtă. Ea se termină cu aproape 40 de zile înainte de maturare. La această cereală perioada critică este situată în primele 15 zile de la răsărire, la grîu perioada consumului maxim este mai lungă de 15—17 zile, iar la ovăz și mai lungă.

La mei, perioada critică se situiază chiar la începutul vegetației, în primele 15 zile de la răsărire, însă perioada eficienței maxime este la vîrsta de 30—40 de zile.

La orez perioada consumului maxim durează de la înfrățire și pînă la înflorire.

La porumb asimilarea se produce într-un timp foarte îndelungat, însă cea mai mare parte a substanțelor nutritive minerale și anume a azotului, fosforului și potasiului are loc în prima jumătate a perioa-

dei de vegetație pînă la înflorit. Magneziul și calciul se absorb aproape constant în tot cursul perioadei de vegetație.

La sfeclă perioada consumului maxim a elementelor nutritive se produce în cea de a doua jumătate a vegetației, însă consumul diferitelor elemente nu este același. Potasiul și fosforul se consumă în toată perioada de vegetație cam cu aceeași intensitate, pe cînd azotul se consumă mai intens, iar magneziul cel mai intens. In a treia lună perioada asimilării scade. De aceste particularități în nutriția sfeclei, trebuie să se țină seama cînd se aplică îngrășămintele. Aplicarea îngrășămintelor cu azot și potasiu trebuie să fie redusă, moderată, cu fosfor ridicată la începutul vegetației, după încolțire, moderată pentru azot, ridicată pentru fosfor și potasiu în cea de a doua perioadă de vegetație, cînd încetează creșterea frunzelor.

La vița de vie, cu o perioadă lungă de vegetație, consumul elementelor nutritive și anume a azotului și fosforului are loc cam cu același ritm, în tot timpul vegetației. Potasiul se consumă în cantitate mai mare către mijlocul perioadei de vegetație, după care ritmul consumului scade. Calciul, pînă la mijlocul perioadei de vegetație este consumat în cantitate mică, în cea de a doua perioadă consumul crește, întrecînd pe cel al celorlalte elemente nutritive. Aceasta se datorește, pe de o parte, faptului că se află în cea mai mare cantitate în frunze, iar pe de altă parte, pentru că nu-i reutilizat și se depune mai ales în frunzele bătrîne și în coardele mature.

La pomii fructiferi consumul maxim al elementelor nutritive, este de asemenea destul de lung, în cursul perioadei de vegetație. Consumul maxim al azotului, fosforului și potasiului, e în perioada creșterii intense vegetative și cea a încetinirii creșterii, apoi după faza creșterii intense vegetative și fructificării. După fructificare se constată un consum mare de elemente nutritive, pentrucă se acumulează în tulpini, ramuri, rădăcini, substanțe de rezervă, care sînt folosite pentru parcurgerea fazelor timpurii (desmugurire, înflorire) din anul următor.

Toate aceste date se datoresc în mare parte cercetărilor lui N. S. Avdonin (1954), lui S. S. Rubin (1954), lui Z. I. Jurbițki (1955), precum și ale altor cercetători, ne dovedesc că plantele se deosebesc foarte mult unele de altele, în ce privește caracterul consumului elementelor nutritive. La unele plante, (orz, in) perioada consumului substanțelor nutritive este mai scurtă, la altele (porumb, rapiță, sfeclă, mazăre, măzăriche, fasole, trifoi) este mai lungă.

Dacă se ține seama de diferitele perioade: critice, consumului maxim și durata perioadei de nutriție, atunci sistemul de îngrășare nu trebuie să fie unic, ci diferențiat.

Cercetările privitoare la dinamica consumului elementelor minerale nutritive se găsesc la început. Ele însă trebuie extinse la toate plantele de cultură și în condiții de trai cît mai variate, pentru că astfel vor servi cu succes la rezolvarea practică a îngrășării raționale a culturilor.

Scanned with OKEN Scanner

BAZELE FIZIOLOGICE ALE APLICĂRII ÎNGRĂȘĂMINTELOR MINERALE

Administrarea îngrășămintelor în sol în funcție de cerințele plantelor

Pentru obținerea de recolte mari este necesar să se administreze solului doze mari de îngrășăminte, însă procedeul practicat, de a se da îngrășăminte în întregime înainte de semănat, este greșit, pentru că nu corespunde necesităților plantei. Mai mult încă administrarea de doze mari de îngrășăminte, înainte de semănat, poate să reducă sau chiar să distrugă recolta.

Semințele în timpul germinării lor și chiar în primele faze ale creșterii, absorb din sol o cantitate foarte mică de săruri, pentrucă ele dispun de o rezervă apreciabilă în corpul lor. O concentrare mare de săruri în sol poate inhiba germinația și creșterea plantelor. În afară de aceasta unele îngrășăminte, cum sînt azotații sînt spălați de sol, înainte de a fi folosite.

Avîndu-se în vedere aceste neajunsuri și ritmul consumului de substanțe minerale nutritive în funcție de fazele de creștere și stadiile de dezvoltare, s-a dezvoltat procedeul aplicării faziale a îngrășămintelor minerale.

Administrarea îngrășămintelor minerale, pe baza datelor fiziologice trebuie să se facă fracționat, de-alungul întregei perioade de vegetație și anume cînd cerințele plantelor sînt mai mari în ce privește utilizarea substanțelor nutritive.

Aprovizionînd plantele după cerințele pe care le arată în cursul perioadei de vegetație, se obține o creștere mai bună, o intensificare a proceselor vitale din întreg ciclul lor de viață.

Administrarea îngrășămintelor nu trebuie să se facă unilateral, adică să se dea, de ex. îngrășămintele azotate numai la începutul vegetației, iar altele, cele de potasiu și fosfor, mai tîrziu. Se administrează îngrășăminte minerale complete, însă cantitățile de substanțe minerale trebuie să varieze.

Se dă mai mult azot la începutul vegetației pentru a se favoriza creșterea masei vegetative și mai puțin fosfor și potasiu.

Într-o fază ulterioară se dă mai mult potasiu și fosfor, cînd creșterea plantelor încetinează sau se oprește, pentru a se favoriza acumularea de substanțe organice de rezervă, fructificarea.

La aplicarea îngrășămintelor mai trebuie de avut în vedere faptul că unele plante utilizează mai bine la începutul vegetației unele forme de îngrășăminte greu solubile, altele mai bine pe cele ușor solubile.

În această privință, deosebit de importante sînt cercetările care stabilesc comportarea pătlăgelilor roșii față de fosforul solubil din superfosfat, în comparație cu fosforul greu solubil, din fosforite. Pătlăgelile roșii asimilează slab fosforul din fosforite în prima perioadă de vegetație, ceea ce are consecințe nefavorabile asupra asimilării potasiului, și-n acest caz sinteza proteinelor decurge într-un ritm slab. Aceste plante însă își măresc capacitatea de a asimila fosforul greu solubil într-o fază ulterioară, cînd plantele sînt mai în vîrstă.

În același fel se comportă și sfecla de zahăr, morcovul, macul, meiul.

Mușțarul de ex., folosește mai bine fosfații greu solubili, în tot cursul perioadei de vegetație.

Comportarea diferită a plantelor de-a lungul perioadei de vegetație, în ce privește asimilarea formelor greu solubile, depinde probabil de însușirea rădăcinelor de a secreta, mai abundent sau mai puțin abundent, cînd plantele sînt tinere sau mai bătrîne, anumiți acizi organici. S-a observat că cu cît plantele absorb mai intens calciul, cu atît folosesc mai bine acidul fosforic din fosfații greu solubili.

Se schimbă și capacitatea de a asimila diferite forme de îngrășăminte azotate. Pentru pătlăgelile roșii cea mai bună sursă de azot, în prima perioadă de vegetație, este forma amoniacală, iar în cea dea a doua perioadă de vegetație, sursa nitrică.

Din cele arătate rezultă că pentru a echilibra în mod judicios creșterea și dezvoltarea plantelor, este nevoie să schimbăm raportul dintre elementele nutritive, să ținem seama de însușirea plantelor de a folosi formele greu solubile și ușor solubile.

Îngrășămintele ce se dau diferențiat nu se dau în aceeași cantitate în tot cursul vegetației. Dozele se măresc în raport de ritmul consumului. Doza cea mai mare se dă în faza înfloririi și fructificării.

Desigur, că la administrarea îngrășămintelor, se întîmplă multe greutăți, pentrucă nu se cunosc bine necesitățile plantelor pentru elementele nutritive, deoarece ele se complică și se modifică cu vîrsta plantelor. Greutatea provine de acolo că raporturile de interdependență dintre elementele nutritive sînt foarte complicate și influențează în mod diferit procesele de creștere și de dezvoltare.

La aceste greutăți se adaugă și faptul că nutriția minerală este puternic influențată de factorii mediului.

Cercetări făcute la sfecla de zahăr arată că asimilarea azotului, în măsură mai mică, a fosforului, calciului, sulfului și potasiului, scade odată cu scăderea temperaturii.

In țara noastră prof. N. Zamfirescu (1937), a găsit că azotul amoniacal are o acțiune mai eficace decît azotul nitric cînd temperatura la care se face absorbția este cuprinsă între + 18° și + 44°C. Sub + 18° azotul nitric este mai eficace.

Absorbțiunea celorlalte elemente nutritive este și ea influențată de temperatură. Absorbțiunea potasiului crește pe măsură ce urcă temperatura atingînd un optim la + 25°C și se menține neschimbată chiar dacă plantele avansează ceva mai mult în vîrstă. Pentru fosfor temperatura optimă de absorbțiune este cuprinsă între + 32°C și 39°C, iar pentru calciu între + 18°C și + 39°C.

Aceste concluzii prezintă o valoare practică și ne permit să înțelegem eficacitatea îngrășămintelor.

Lumina influențează și ea nutriția minerală. S-a constatat experimental că la o micșorare a intensității luminii se împiedică simțitor asimilarea potasiului și a fosforului.

Aceste fapte confirmă justețea legii egalei însemnătăți a factorilor de vegetație, că mărimea recoltei depinde nu numai de bogăția substanțelor minerale pe care plantele o au la dispoziție, ci și de temperatură, lumină, apă. Dacă se satisfac cerințele plantelor în legătură cu toți factorii de vegetație nu numai cu elementele minerale nutritive se obțin recolte mai mari și de calitate mai superioară.

În legătură cu calitatea recoltei menționăm că se poate împiedica scăderea conținutului în proteine al semințelor irigate, dacă se administrează îngrășămîntul azotat în sol înainte de umplerea bobului. Dacă se aplică mai devreme e folosit la formarea masei vegetative.

Prin aplicarea diferitelor forme de îngrășăminte fazial se poate mări conținutul de uleiuri eterice la plante etc.

Administrarea îngrășămintelor minerale prin stropirea plantelor

Se știe că îngrășămintele administrate solului, de multe ori nu pot fi folosite de plante din lipsa ploilor sau pot fi spălate în adîncime sau să treacă în forme insolubile.

Pentru a se preîntîmpina aceste neajunsuri s-a preconizat procedeul stropirii plantelor cu soluții de substanțe minerale nutritive. Frunzele plantelor, în special, și lăstarii au capacitatea de a absorbi apa și diferitele substanțe, după cum o are fiecare celulă. Dacă se stropesc plantele, cu soluții nutritive, substanțele din soluție pătrund prin epidermă și se răspîndesc în tot corpul plantei. Se folosesc în mare măsură fosforul, potasiul, azotul și chiar unele microelemente (Bor, Mangan).

Stropirea plantelor se face în orele de dimineață sau de seară, cînd atmosfera este liniștită. Pătrunderea elementelor din soluția nutritivă are loc în condiții optime dacă picăturile de soluție se mențin pe frunze, lăstari, pînă la o jumătate de oră.

Stropirea plantelor se face cu pompe de mînă. Concentrația soluțiilor ce conțin azot, fosfor sau potasiu nu trebuie să depășească limita de 1,5-2%. Dacă se folosesc concentrații mai mari se provoacă arsuri. Se pot folosi și concentrații mai mari cînd stropirea se face din avion. Soluțiile de microelemente se folosesc în concentrații foarte slabe, sub 1 g la litrul de apă.

Nutriția plantelor pe această cale, cunoscută sub numele „nutriție extraradiculară", dă rezultate bune. Iakușkin și alții au obținut rezultate bune la sfecla de zahăr cu superfosfat și clorură de potasiu. Pe lîngă sporuri de recoltă de 10% la rădăcini, a obținut și un spor de 1% a conținutului în zahăr.

Scanned with OKEN Scanner

Rezultate bune s-au observat prin nutriția extraradiculară și la cereale, ierburi perene, cartofi, plante textile, in, bumbac, legume, pomii fructiferi, vița de vie.

În pomicultură, în special, procedeul nutriției extraradiculare prezintă perspective mari, el căpătînd o mare extindere în U.R.S.S.

Prin nutriția extraradiculară cu N, P, K se sporește numărul de ramuri înflorite, se împiedică căderea fructelor, se mărește greutatea fructelor, se favorizează creșterea lăstarilor etc.

Despre îngrășăminte și importanța lor pentru țara noastră

În cel de al doilea plan cincinal se prevede extinderea aplicării îngrășămintelor naturale și chimice, în vederea sporirii producției agricole. Întrebuințarea îngrășămintelor are drept scop îmbunătățirea hranei plantelor. Cu cît se aplică o agrotehnică mai înaintată cu atît trebuie să se dea mai multe îngrășăminte pentru a se obține recolte din ce în ce mai mari.

După cum se știe în sol există aproape toate elementele chimice necesare pentru hrănirea plantelor. Unele dintre ele sînt consumate în cantități neînsemnate, încît ele nu trebuie să se aplice suplimentar în sol. În schimb necesarul în N, P și K pentru plante este mare. De pildă o recoltă de grîu de toamnă de 1500 kg la hectar ia din sol 37,5 kg azot, 19,8 kg fosfor și 36 kg potasiu, iar recolta de sfeclă de zahăr de 20.000 kg la hectar, ia din sol 180 kg azot, 30 kg fosfor și 140 kg potasiu.

De aici rezultă că dacă în fiecare an se iau recolte fără să se dea înapoi aceste substanțe hrănitoare, de care ele au nevoie ele vor da o recoltă din ce în ce mai slabă. Cu aceste elemente trebuie să fie îngrășate aproape toate plantele.

Ca îngrășăminte se folosește în primul rînd gunoiul de grajd și diversele resturi organice ce provin din diferitele industrii. Însă cu aceste îngrășăminte nu se întoarce întreaga cantitate de substanțe hrănitoare pe care o iau plantele din sol. De aceea este necesar de a se folosi în proporții tot mai mari îngrășămintele minerale, fabricate special de industria chimică.

În funcție de bogăția solului în substanțele hrănitoare amintite și de felul culturii, pentru 1 ha sînt necesare 50-100 kg de azot, 45-120 kg de potasiu și 45-120 kg de fosfor. Cum aceste elemente nu se dau în stare pură, ci de amestecuri diferite, ceea ce reprezintă cîteva sute de kg de asemenea amestecuri pentru 1 ha, se pune problema ca ele să fie date ca îngrășăminte concentrate.

Spre exemplu, îngrășămintele azotate sînt reprezentate sub forma de azotat și sulfat de amoniu. Îngrășămîntul azotat principal este azo-

Scanned with OKEN Scanner

tatul de amoniu, care conține 32-34% azot activ, elementar. Pentruca să se dea 50-100 kg de azot plantelor, trebuie să se administreze solului cîteva sute de kg de azotat de amoniu. Acest neajuns se poate înlătura prin folosirea ureei ce conține 46,6% azot, amoniacul lichid ș. a.

Îngrășămintele pe bază de fosfor folosite în prezent sînt supertosfatul simplu, ce conține 14-20% fosfor elementar. zgura lui Thomas, rezultată din prelucrarea fontei în oțel, 14-18% fosfor elementar. Pentru 1 ha sînt necesare 225-650 kg din aceste îngrășăminte. De aceea e necesar să se găsească un îngrășămînt mai concentrat, care să cuprindă în aceeași unitate de greutate o cantitate mult mai mare de fosfor. Foarte bun este superfosfatul dublu, ce conține 40-50% P_2O_5 de unde rezultă că pentru 1 hectar sînt necesare 90-120 kg, adică de 2,5-3 ori mai puțin decît îngrășămîntul simplu.

Îngrășămintele potasice folosite sînt clorura de potasiu, sulfatul de potasiu, cainita, silvinita. Clorura de potasiu conține 30-40% potasiu, iar sulfatul de potasiu 48-52% potasiu, cainita 12% potasiu, iar silvinita 15% potasiu. Este de dorit ca să fie folosite sărurile de potasiu (clorura și sulfatul de potasiu), bogate în acest element.

BIBLIOGRAFIE

1. *Andronicescu D.:* Ghivecile nutritive. I.C.A.R. Îndrumări tehnice, Nr. 56, 1955, Academia R.P.R.
2. *Avdonin N. S.:* Îngrășarea suplimentară a plantelor agricole în lumina științei agrobiologice înaintată. Sovetkaia Agronomia 11/1950, pag. 27—35.
3. *Deleanu T. N.* Migrația negativă a substanțelor azotoase din frunze și chestiunea acumulării lor în tulpină sau rădăcină. Acad. Rom. Memoriile Secției Științifice, Seria III, Tom. IX, Mem. 9, 1933.
4. *Demolon A.:* Creșterea plantelor de cultură (l. franceză). Dunod, 1948, Paris.
5. *Ionescu Sișești G.:* Cercetări asupra solului Romîniei prin metoda fiziologic-vegetală. Analele I.C.A.R., vol. VI, anul V, 1934.
6. *Fedorov V. M.:* Fixarea biologică a N_2 (Monografie în l. rusă), C.G., M-L, 1948. Moskva.
7. *Ionescu Sișești G. și Văluță I.:* Starea de fertilitate și nevoia îngrășămintelor la cîteva tipuri de soluri din Romînia. Exp. din anii 1933—1938 prin metoda fiziologic-vegetală. Anale I.C.A.R., Vol. XI, an. X, 1939.
8. *Jurbițki L. I.:* Necesitățile plantelor în hrană minerală (l. rusă), Fiz. rastenii, tom 2, nr. 2, 1955.
9. *Kosttcev S. P.:* Fiziologia plantelor (l. germană), vol. I, pag., 1927.
10. *Krasilnikov N. A.:* Asimilarea de către rădăcinile plantelor a produselor activității vitale a microbilor. D. A. N., SSSR, Vol. 79, nr. 5, 1951.
11. *Krasilnikov N. A.:* Microorganismele și fertilitatea solului. Analele Romîno-Sovietice (Biologie), nr. 4, pag. 35—65, 1954.
12. *Maximov N. A.:* Fiziologia plantelor, Ed. de Stat, pag. 146—193, 1951.
13. *Kuzin A. M.:* Atomii marcați în cercetări în domeniul agriculturii (l. rusă). A. N. SSSR, 1954.
14. *Peterburgskii A. V.:* Unele probleme de nutriție radiculară la plante. Analele Romîno-Sovietice (Agric.), nr. 2, pag. 20—35, 1955.

Scanned with OKEN Scanner

15. *Popescu Ștefan:* Cercetări asupra regiunii absorbante a rădăcinii. Bul. Agric. Vol. IV, nr. 10—12, 1924, București.

16. *Prianișnikov N. D.:* Azotul în viața plantelor și în agricultură din U.R.S.S. (l. rusă), 1945.

17. *Ratner E. I.:* Nutriția minerală a plantelor și puterea de absorbție a solurilor (l. rusă), Akad. Nauk, 1950, Moskva.

18. *Rubin S. S.:* Îngrășarea culturilor fructifere (l. rusă), Ed. de Stat a lit. agricole, 1949, Moskva.

19. *Sabinin D. A.:* Bazele fiziologice ale nutriției plantelor (l. rusă), A. N. USSR, pag. 166—278, 1955, Moskva.

20. *Sălăgeanu N. și Chirilei H.:* Fertilitatea solurilor în funcție de tratamentul termic prealabil. Acad. R. R. 1950.

21. *Skolnik M. I.:* Importanța microelementelor în viața plantelor și în agricultură (l. ruuă), 1950, Moskva.

22. *Zamfirescu N.:* Influența temperaturii asupra absorbțiunii substanțelor nutritive, 1937, Chișinău.

Scanned with OKEN Scanner

FOTOSINTEZA

de prof. N. SĂLĂGEANU

ASIMILAREA CARBONULUI NEORGANIC DE CĂTRE PLANTE

Substanța uscată a plantelor, constă în cea mai mare parte din diferite substanțe organice, substanțele neorganice reprezentînd abia 3-25%. Substanțele organice la rîndul lor, sînt alcătuite din C, H, O ,N, S, și P. Dintre toate aceste elemente carbonul se găsește în cantitatea cea mai mare.

În corpul plantelor, C reprezintă 45%, O — 42%, H — 6,5%, N — 1-2%, P — 0,25% și S — 0,25-0,5%. De aici rezultă, că pentru asimilarea unei t de C, plantele trebuie să asimileze 30-40 kg. N, 5 kg P și 5 gr. S. Din aceste date, se vede că asimilarea substanțelor organice de către plante, atrage după sine asimilarea unei cantități mari de C, O, H, N—P și S.

În privința nutriției plantelor cu C, deosebim plante heterotrofe și plante autotrofe. Plantele heterotrofe se hrănesc cu substanțe organice pe cari le absorb din mediul înconjurător. Plantele autotrofe își produc singure, toate substanțele organice din substanțe minerale, ca CO_2, H_2O și altele, pe care le absorb din mediul înconjurător. Sinteza substanțelor organice din substanțe minerale, reprezintă procese endoterme, adică fenomene ce au loc cu absorbție de energie. După natura energiei folosite de plante autotrofe în sinteza substanțelor organice, deosebim plante fotosintetizante, care folosesc energia luminii în sinteză și plante chemosintetizante, care folosesc energia chimică produsă prin oxidarea substanțelor minerale.

În zilele noastre, cele mai răspîndite sînt plantele fotosintetizante. Putem spune că aproape întreaga cantitate de substanță organică produsă în natură în prezent se datorește fenomenului fotosintezei ,care are loc la plantele verzi. Cauza răspîndirii largi a plantelor fotosintetizante și a dezvoltării lor mari, se datorește faptului că ele sînt independente față de alte viețuitoare în ceea ce privește procurarea substanțelor organice necesare vieții lor, deoarece CO_2, H_2O și lumina solară se găsesc în genere larg răspîndite în natură. Existența organismelor chemosintetizante e restrînsă la acele locuri unde se găsesc substanțe minerale ușor de oxidat, ca: SH_2, NH_3, $Fe(OH)_2$, etc.

Existența organismelor heterotrofe e limitată de răspîndirea substanței organice în natură.

A. F. Lebedev a arătat în 1921 că plantele heterotrofe și animalele, pot fixa și ele bioxidul de carbon. Prin combinarea sa cu un radical oarecare organic, CO_2 formează o grupare carboxilică:

$$RH + CO_2 \longrightarrow R - COOH$$

Gruparea carboxilică poate fi apoi redusă folosindu-se pentru aceasta, energia substanțelor organice:

$$R - COOH + H_2 \longrightarrow \begin{matrix} R \\ | \\ CH_2OH \end{matrix} + H_2O$$

Ca exemplu de substanță organică ce fixează CO_2, poate servi acidul piruvic, care cu CO_2 fixat, formează cidul oxalilacetic:

$$CH_3CO \cdot COOH + CO_2 \longrightarrow \begin{matrix} CH_2 \cdot COOH \\ | \\ CO \cdot COOH \end{matrix}$$

Astfel de reacții au loc probabil și la plantele verzi în timpul fotosintezei. La ele acidul oxalilacetic format, poate fi apoi redus cu ajutorul energiei solare.

Nu cunoaștem primele viețuitoare apărute pe pământ. După ipoteza lui A. I. Oparin, la început s-au format substanțe organice din substanțe minerale. Apoi au apărut primele organisme heterotrofe, care se nutreau cu substanțe organice ce se găseau în abundență. Organismele autotrofe au apărut mai tîrziu și anume atunci cînd substanțele organice s-au împuținat.

Dintre organismele autotrofe, cele mai simple sînt bacteriile chemosintetizante. Fotosinteza reprezintă un salt calitativ în evoluția vieții pe pământ. Abia de acum în colo se puteau sintetiza în cantitate mare din CO_2, apă și lumină, cari sînt larg răspîndite pe suprafața pământului, substanțele organice necesare viețuitoarelor.

După Van Helmont, (1577—1644) mai mulți cercetători, printre care Malpighi, S. Hales, Bennet și Duhamel de Monceau, s-au ocupat de problema nutriției plantelor. Ei susțineau că aerul este un aliment necesar plantelor, dar nu i-au putut preciza rolul. Așa de exemplu S. Hales, în cartea sa „Statistica plantelor" (1727) exprimă părerea că plantele primesc o parte din hrana lor, cu ajutorul frunzelor din aer. M. V. Lomonosov scria în 1753, în tratatul său renumit „Cuvinte despre fenomenele din aer": copacii mari care cresc repede și care își introduc rădăcinile în pământul nefertil, ne arată clar că absorb cu frunzele lor grase substanțele hrănitoare din aer deoarece le este imposibil să primească din nisipul steril, substanțe organice.

În 1761 M. V. Lomonosov, își exprimă și mai clar ideea sa despre nutriția aeriană a plantelor [1]): „cine știe că numeroasele ace ale pinului atrag spre ele din aer seva grasă (suculentă) care e condusă prin nervuri foarte subțiri în întreaga plantă, transformîndu-se în hrană în corpul său, acela nu va întreba de unde se acumulează în plantă substanțe noi, care îi măresc corpul".

1) Izbr. filosof. proizv. Gospolitizdat, 1950 p. 229.

Meritul lui M. V. Lomonosov în dezvoltarea cunoștințelor despre nutriția plantelor, constă mai ales în descoperirea legii conservării materiei și a energiei și în elaborarea concepției moderne atomice despre arderi, înlăturînd teoria flogisticului.

Preotul englez Joseph Priestley (1733—1804 a scris în 1762, lucrarea „Observations on differend kinds of air" în care arată cercetările sale, despre acțiunea viețuitoarelor asupra unui volum închis de aer. El a constatat că animalele, de ex. șoarecii nu pot trăi într-un aer închis și nici lumînarea nu arde într-un astfel de aer. Plantele pot purifica aerul viciat de animale, sau de arderea unei lumînări. El scria: „mie mi s-a întîmplat să descopăr un mijloc de refacere a aerului stricat prin arderea unei lumînări și să descopăr într-o măsură oarecare unul din regeneratorii folosiți de natură în vederea acestui scop. Aceasta e vegetația. Deoarece aerul atmosferic e pentru viața plantelor la fel de necesar ca și pentru viața animalelor, s-ar putea crede că plantele modifică aerul în acelaș mod ca și animalele. Și eu recunosc că așteptam aceeași acțiune, cînd pentru prima dată am așezat o ramură de mentă, într-un vas de sticlă răsturnat peste apă. După ce ramura a crescut aici cîteva luni, am găsit că aerul nu stingea lumînarea și nu era dăunător pentru un șoarece pe care l-am introdus în vas. Descoperind că lumînarea arde bine în aerul în care a crescut o plantă timp îndelungat, am dedus că plantele pot reface aerul stricat prin arderea unei lumînări.

În 17.VIII.1771, am introdus o ramură de mentă într-un volum de aer în care o lumînare nu mai putea arde și în 27 a aceleeași luni, am găsit că o lumînare putea arde foarte bine în acest aer. Am repetat această experiență de 8—10 ori în decursul verii, fără a obține cea mai mică modificare a rezultatului". În vara anului 1772 Priestley a experimentat și cu alte plante, și anume cu tulpini de Melissa officinalis și de Spinacia oleracea și a găsit că și aceste plante purifică aerul viciat de animale. Experimentînd cu aerul viciat de fermentația alcoolică în care a ținut o ramură de mentă, a constatat că dacă ramura nu piere repede în aceste condiții, atunci ea crește uimitor de repede.

În unele experiențe, Priestley, s-a servit de numeroase frunze de mentă, pe care le ținea într-un vas închis, cu aer viciat prin arderea unei lumînări. În aceste cazuri, el nu a putut să constate nici o purificare a aerului, ajungînd la concluzia eronată, că purificarea aerului, e în legătură cu creșterea plantelor. Joseph Priestley, nu cunoștea rolul luminii în fenomenul descoperit de el.

În 1777, chimistul suedez Scheele refăcînd experiențele lui J. Priestley, cu boabe de fasole încolțită, a constatat că acestea strică aerul, la fel ca animalele. J. Priestley nu a putut răspunde acestei critici, deoarece nu cunoștea necesitatea luminii în purificarea aerului de plante.

Medicul olandez J. Ingen-Housz (1730—1799), a arătat în lucrarea sa „Experiments upon vegetabels", următoarele: „plantele nu numai că sînt în stare să amelioreze aerul stricat în decurs de 5—6 zile, în cazul în care cresc în el, dar ele îndeplinesc pe deplin acest proces însemnat în decurs de numai cîteva ore și că acest proces surprinzător e provocat nu de însăși planta, ci de acțiunea luminii solare asupra plantelor. Plantele au cel mult posibilitatea să prelucreze aerul pe care-l conțin și cu

siguanță, pe care îl absorb încontinu din atmosfera obișnuită, transformîndu-l în aer adevărat și cu totul deflogisticat. Ele provoacă un curent continuu de aer purificat care face atmosfera mai propice vieții animalelor. Această acțiune începe abia după răsăritul soarelui. Plantele umbrite de clădiri înalte, sau acelea care cresc în umbra deasă a altor plante, nu îndeplinesc această muncă, ci dimpotrivă elimină aer dăunător pentru animale. Această activitate a plantelor, se micșorează spre sfîrșitul zilei, și încetează complet la apusul soarelui. Activitatea aceasta, nu e îndeplinită de planta întreagă, ci numai de frunze și de tulpinele verzi. Chiar și plantele cele mai otrăvitoare îndeplinesc această activitate, la fel cu plantele folositoare sănătății omului. Cea mai mare parte a frunzelor pun în libertate cantități mari de aer deflogisticat, prin suprafața lor inferioară. Toate plantele strică aerul înconjurător în timpul nopții iar florile fac aerul înconjurător greu de suportat în măsură egală cu timpul zilei, și al nopții. Soarele nu poate reface aerul fără participarea plantelor".

J. Ingen-Housz, a arătat însemnătatea luminii în deflogisticarea aerului și rolul activ al plantelor în producerea aerului vieții (oxigenului). El a arătat că plantele strică aerul la întuneric, susținînd că e periculoasă ținerea plantelor mari (flori, legume sau fructe) în timpul nopții în locuințe. Deși J. Ingen-Housz scrie în lucrările sale despre aerul combinat, sau despre absorbția „aerului stricat" de către organele aeriene ale plantelor, și punerea în libertate de către ele a „aerului bun", el nu a înțeles că acestea sînt două laturi ale unui și aceluiaș fenomen. În experiențele sale, Ingen-Housz s-a folosit de metoda bulelor de aer, obținută prin ținerea frunzelor verzi scufundate în apă, la lumină.

J. Sennebier (1782) observînd acțiunea de grăbire a aerului „legat" asupra punerii în libertate a aerului curat de către plante, a ajuns la concluzia că aerul curat pus în libertate de plante în lumina soarelui, apare ca un produs de prelucrare a aerului „legat" proces care se realizează cu ajutorul luminii.

În cartea sa apărută în 1796, „Nutriția plantelor și reînvierea și refacerea solului" J. Sennebier arată pe baza cunoștințelor chimiei moderne, că plantele absorb bioxid de carbon din aer prin frunzele lor, punînd în libertate oxigen. După părerea sa plantele iau din sol, numai seva, iar carbonul și oxigenul îl iau din aer. J. Sennebier susținea că plantele absorb bioxidul de carbon și din apa din sol prin rădăcini, și aceasta e condus apoi în frunze.

Între timp, au progresat, cunoștințele chimiei asupra gazelor. În 1754, a fost descoperit bioxidul de carbon, numit înainte „aer legat". În 1757, a fost descoperit oxigenul, de către J. Priestley, care l-a preparat din oxid roșu de mercur. Oxigenul era numit înainte „aerul vieții". Hidrogenul numit înainte „aer arzător", a fost descoperit în 1766. Între anii 1772 și 1782, Lavoisier a arătat compoziția aerului.

Théodore de Saussure (1767—1845) a arătat în lucrarea sa „Recherches chimiques sur la végétation" (1804) că plantele au două feluri de schimburi de gaze și anume respirația și fotosinteza. Acest din urmă fenomen constă în aceea că plantele absorb la lumină bioxid de carbon din aerul înconjurător și elimină în acesta oxigen. Totodată, se mărește cantitatea de substanță uscată a plantei. El a putut arăta că substanța uscată crește în cantitate mai mare decît aceea corespunzătoare carbonu-

Scanned with OKEN Scanner

lui din bioxidul de carban absorbit și că în consecință, mai trebuie să fie legată și apă în acest fenomen.

Pe baza cunoștințelor din timpul cercetărilor lui Th. de Saussure, fotosinteza poate fi exprimată prin relația următoare:

Bioxidul de carbon + apă + lumina → (plantă) substanță organică + oxigen.

Pe baza legii conservării energiei descoperită de M. V. Lomonosov, și aplicată la fenomenele biologice de Robert Mayer, se poate atribui pentru fotosinteză, următoarea formulă:

Bioxid de carbon + apă + lumină → (plantă) substanță organică + oxigen + energie chimică.

Prin urmare plantele verzi nu-și iau hrana din pămînt așa cum credea Aristoteles și nici din apă, așa cum susținea Van Helmont, ci ele și-o produc singure, din bioxid de carbon și din apă, în organele lor verzi și în prezența luminii.

Deși cunoștințele de bază asupra fotosintezei au provenit din date experimentale, totuși din cauza metafizicei și a idealismului care dominau la începutul secolului trecut, cunoștințele asupra acestui fenomen, progresau încet. Mai erau mulți oameni de știință, care ținînd seama de cantitatea mică a bioxidului de carbon în aer și de conținutul relativ mare în bioxid de carbon al solului, se ridicau împotriva nutriției aeriene a plantelor. Ceea ce frîna însă mai mult cercetările era concepția reacționară asupra rolului forței vitale în acest fenomen.

În 1836 Döbeny a arătat cu ecrane colorate că fotosinteza are loc în diferite regiuni ale spectrului cu intensități diferite. Din cauza unor greșeli experimentale, el a ajuns la concluzia că optimul fotosintezei are loc în lumina galbenă și a dedus de aici, că fotosinteza decurge proporțional cu strălucirea luminii. Frunzele verzi s-ar comporta din acest punct de vedere la fel cu ochii noștri care sînt mai puternic influențați de lumina galbenă. Draper W. era de părere, că lumina acționează asupra fotosintezei ca un excitant.

Fiziologii J. Sachs, Prille și Pfeffer, s-au raliat acestui punct de vedere.

Din cauză că lumina galbenă trece în cea mai mare parte prin frunză, păstrîndu-și aproape în întregime energia sa, J. Sachs și W. Pfeffer, au tras concluzia eronată, că fotosinteza nu se supune legii de conservare a energiei. Prin aceasta vitaliștii susțineau că în genere procesele vieții sînt supuse unei „energii vitale" și că ele nu au o natură materială. R. Mayer și G. Helmholz s-au ridicat împotriva acestei concepții arătînd că în procesul fotosintezei are loc o acumulare a energiei solare, bazîndu-se pe legătura directă între intensitatea fotosintezei și intensitatea luminii.

Dn cauza lipsei unei dovezi experimentale referitoare la aplicarea legii conservării energiei la fenomenul fotosintezei, vitaliștii și-au păstrat pozițiile lor în acest domeniu însemnat al biologiei. Pînă la mjlocul secolului trecut, problema sursei de energie, care stă la baza activității vitale a organismelor, continuă să nu fie cunoscută.

Teoria humusului emisă de Thaier mai era admisă în prima jumătate a secolului al XIX-lea. Liebig (1840) a arătat că substanța organică a humusului este ea însăși de origine vegetală. R. Mayer (1845) a formulat pentru prima oară ideea că plantele verzi asimilează lumina solară sub

formă de energie chimică, făcînd-o susceptibilă de a fi utilizată de celelalte organisme în procesele lor biologice.

K. A. Timiriazev (1843—1923) s-a ocupat în decursul vieții sale întregi, de cercetări asupra fotosintezei, urmărind să lămurească tocmai acest aspect energetic necunoscut. Fiind un evoluționist militant, el a interpretat culoarea verde a frunzelor plantelor, datorită clorofilei, nu ca pe un fapt întîmplător, ci ca fiind datorit unei adoptări în decursul evoluției plantelor. Stabilind spectrul de absorbție al clorofilei, fig. 32, el a constatat o absorbție puternică a razelor roșii între liniile lui Frauenhofer

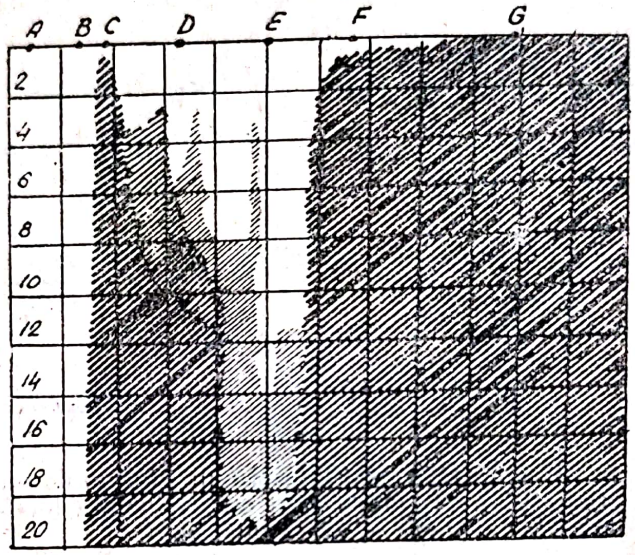


Fig. 32. Spectrul de absorbție al clorofilei (după K. A. Timiriazev).

B și C, cu lungimea de undă cuprinsă între 650 și 680 m μ și apoi o absorbție intensă a razelor albastre și violete dincolo de linia F a lui Frauenhofer. K. A. Timiriazev a determinat intensitatea fotosintezei în diferitele regiuni ale spectrului solar, arătînd că intensitatea optimă a fotosintezei, are loc în lumina roșie, și scade treptat cu micșorarea lungimei de undă, paralel cu scăderea energiei razelor de lumină, fig. 32. Strălucirea razelor de lumină este maximă în regiunea razelor verzi, de unde scade în spre roșu și în spre violet, așa cum se vede în fig. 33. Contrar celor găsite de Draper W. și susținute de J. Sachs și de W. Pfeffer, K. A. Timiriazev a arătat că optimul fotosintezei coincide nu cu lumina galbenă reținută de plante în proporție mică și relativ săracă în energie, ci cu lumina roșie, puternic absorbită de frunzele verzi, și relativ bogată în energie.

Cu aceste experiențe, K. A. Timiriazev a arătat că în fenomenul fotosintezei are loc de fapt, o transformare a energiei luminii în energie chimică și că această transformare e supusă legii conservării energiei. El scria: „în frunze are loc acel proces care leagă existența întregii lumi organice cu soarele. Frunza servește ca mijlocitoare între oricare fenomen energetic al lumii organice și soare, acest izvor general de energie. Rezerva energiei solare absorbită de frunze, e folosită nu numai de plantă,

dar și de întregul regn animal și de om. Astfel și noi, primind ca hrană substanță organică, odată cu ea primim și razele solare acumulate în ea, și această energie o folosim pentru încălzirea și pentru mișcarea corpului nostru".

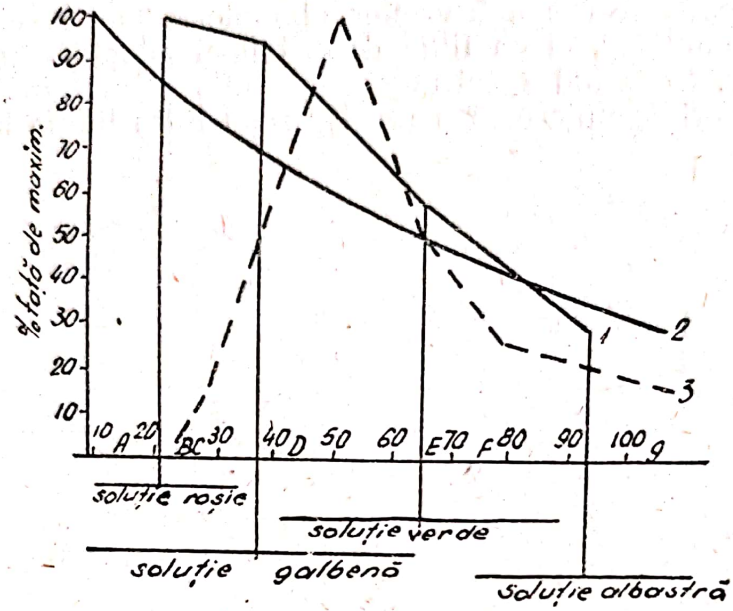


Fig. 33. Intensitatea fotosintezei-1 în funcție de energia radiațiilor de lumină-2, și de strălucirea lor-3 (după K. A. Timiriazev).

Frunza care reprezintă singurul laborator natural, în care se prepară substanța organică pentru ambele regnuri ale naturii, în procesul asimilării carbonului, acumulează energia razelor solare, și ea reprezintă în felul acesta sursa de energie pentru întreaga lume organică [1]).

Dintre cercetătorii ruși și sovietici, cari au contribuit mult prin cercetările lor la lămurirea diferitelor probleme ale fotosintezei amintim pe A. N. Bach, V. I. Palladin, V. I. Vernațky, B. I. Ivanovski, S. P. Kostîcev, V. N. Liubimenko, M. S. Țvet, A. A. Richter, L. A. Kursanov, A. A. Niciporovici, Briliant, Saprojnikov, Blagovescenskii și alții.

Amploarea fotosintezei este impresionant de mare. Ea a fost evoluată de diferiți cercetători. J. Liebig a presupus în 1840 că dacă întreg uscatul ar fi cultivat cu plante care ar produce în medie o recoltă de 5 t./ha, pe an, s-ar produce în total 3×10^{10} t. C. organic, ceea ce corespunde unei asimilații de $10^{11}CO_2$. Dacă nu ar fi mijloace de regenerare a CO_2 în natură acesta s-ar epuiza în decurs de 21—22 de ani.

Schröder H. a grupat suprafața solului ocupată de păduri, pășuni, stepe, pustiuri, evaluînd la fiecare C în tone asimilat pe an. El a ajuns la valoarea de $1{,}65\times10^{10}$ t C asimilat, corespunzătoare unei asimilații de 1,17 t C/ha. Adăugînd substanțele organice consumate în respirație care reprezintă 15% din substanțele asimilate, se poate presupune că plantele de pe uscat asimilează $1{,}9\times10^{10}$ t C H. Schröder e de părere că algele

1. K. A. Timiriazev izbr. soci T. 3 Selhozgiz 1949 p. 171.

ar asimila la fel de intens cu plantele terestre, adică tot $1,9\times10^{10}$t C. Plantele depe întreg globul ar asimila pe an 38×10^{10}t C. G. A. Riley arată pe baza diferitelor determinări că plantele submerse au fotosinteza aproximativ de 8 ori mai mare ca plantele terestre.

V. I. Vernadski a evaluat cantitatea de C. din natură socotind că litosfera ar conține pînă la 16 km. adîncime $2—8\times10^{10}$ t. C. Hidrosfera pînă la înălțimea de 11 km) ar conține 6×10^{11}t C. Greutatea biosferei după puterea sa este de 10^{13}t. V. I. Vernadski e de părere că în organismele vii fiecare atom de C, rămîne numai cîteva luni. El e de părere că fotosinteza este de 10^{13}t—10^{14}t. C. pe an, adică de 60—600 ori mai intensă decît cum au evaluat-o alți cercetători.

Fotosinteza și circuitul unor substanțe în natură.

Suprafața pămîntului este de 510 milioane km², adică de 51 miliarde ha. Dintre acestea, 150 milioane km² îl reprezintă uscatul iar 360 mările și oceanele.

Socotind în medie, masa plantelor submerse la 3—4 t. la un ha și masa plantelor terestre la 6—10 t la un ha, ne dăm seama asupra cantității mari de substanțe organice, aflate în corpul plantelor.

Circulația oxigenului în natură

La asimilarea unei t. de C. din CO_2, plantele pun în libertate 2,7 t. O_2. La o asimilare zilnică de $1,7\times10^{11}$ t. C. plantele pun în libertate în același timp $4,6\times10^{11}$ t. O_2. Cantitatea totală a O_2 din atmosferă, se evaluează la $1,5\times10^{15}$ t. O_2. Din aceste cifre se poate calcula că în decursul a 3000 ani, plantele reînoiesc complet oxigenul din atmosferă. Oxigenul pus în libertate de către plante în fotosinteză, provine din apă. În vederea acestui scop, pentru cele $4,6\times10^{11}$ t. O_2 puse zilnic în libertate, plantele folosesc zilnic $2,25\times10^{11}$ t. apă. Cantitatea de apă din natură, a fost evaluată la $13,7\times10^{11}$ t. De aici se poate calcula că plantele folosesc întreaga cantitate de apă din natură, în decurs de 6 milioane ani. Probabil că la început nu exista aproape de loc oxigen liber în atmosferă și acesta s-a format probabil de către plante, prin fenomenul fotosintezei.

Fotosinteza reprezintă unul dintre cele mai însemnate fenomene din natură.

Prin acest fenomen se produc de către plante substanțe organice necesare atît lor însile cît și animalelor. În această privință, K. A. Timiriazev scria următoarele: „toate substanțele organice, cît ar fi ele de diferite pe care le găsim în corpul plantelor, al animalelor sau al omului, provin din frunze sau din substanțe produse la rîndul lor de frunze. În afara frunzei, sau mai bine zis în afara granulelor de clorofilă, în natură nu există laboratorii unde să se producă substanță organică. În toate celelalte organe și organisme, substanța organică se transformă, dar numai în frunză se creează substanță organică nouă din substanțe neorganice".

O altă însemnătate a fotosintezei constă în producerea oxigenului care este necesar viețuitoarelor. În natură se cunosc mii de fenomene în care oxigenul din atmosferă se combină cu diferite alte elemente. Foto-

sinteza reprezintă singurul fenomen prin care se pune în libertate o cantitate enormă de oxigen.

Prin cantitatea enormă de bioxid de carbon absorbită de plante în fenomenul fotosintezei, are loc o purificare a atmosferei de acest gaz.

Fenomenul fotosintezei reprezintă în mod practic singura posibilitate de fixare a energiei luminii solare de către planeta noastră. Odată cu sinteza substanțelor organice, plantele realizează și o transformare de energie cinetică de lumină, în energie chimică potențială, înglobată în substanțele organice sintetizate în acest fenomen. Asupra însemnătății acestei transformări de energie care are loc în fenomenul fotosintezei, a atras atenția K. A. Timiriazev, care a arătat că energia tuturor viețuitoarelor nu e de natură supranaturală, ci originea ei trebuie căutată în fenomenul fotosintezei. Tot K. A. Timiriazev a arătat că fenomenul fotosintezei reprezintă de fapt un fenomen cosmic, deoarece el e îndeplinit cu energia luminii, venită dela un alt corp ceresc și anume dela soare.

METODE PENTRU PUNEREA ÎN EVIDENȚĂ A FOTOSINTEZEI ȘI PENTRU DETERMINAREA INTENSITĂȚII EI

In fotosinteza plantelor, iau parte CO_2, H_2O, lumina, clorofila, și se produc O_2 și substanțele organice. Acestea din urmă înglobează în ele, o cantitate oarecare de energie. Dintre toți acești factori, la punerea în evidență a fotosintezei și la determinarea intensității ei, sînt folosiți mai ales CO_2 absorbit și O_2 și substanțele organice produse. Cantitatea de apă utilizată în procesul fotosintezei nu poate fi folosită în vederea scopului de mai sus, deoarece, ea este neînsemnată față de cantitatea mare de apă din țesuturile plantelor și față de apa eliminată prin transpirație.

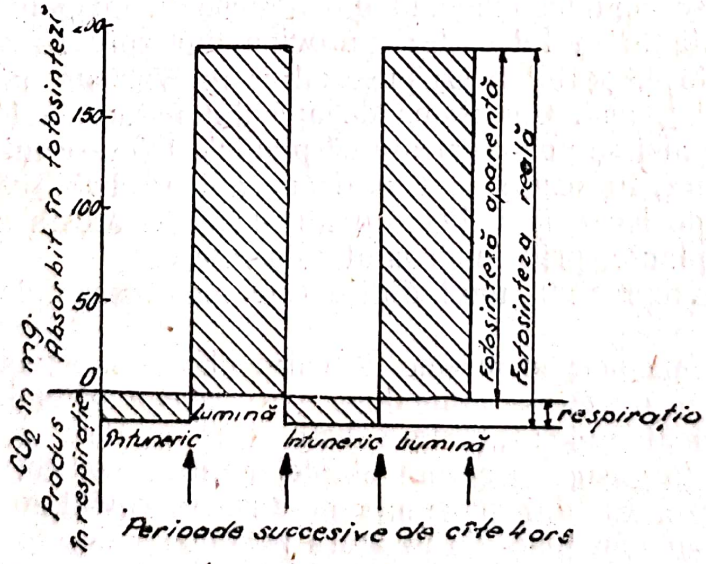


Fig. 34. Relația dintre fotosinteză și respirație. Fotosinteza aparentă și reală. (După B. A. Rubin).

După cantitatea de clorofilă, nu putem aprecia fotosinteza, deoarece intensitatea fotosintezei, nu este în legătură directă cu cantitatea de clorofilă. Lumina folosită efectiv în fotosinteză e relativ greu de determinat exact.

Intensitatea fotosintezei se exprimă la unitatea de suprafață a organelor respective, de ex. la dm.² frunză, socotindu-se suprafața unei singure fețe a frunzei și la unitatea de timp, socotită în ore. Intensitatea fotosintezei se poate exprima și la unitatea de greutate proaspătă a organelor respective de ex. la un gram frunză pe oră.

La determinarea intensității fotosintezei, trebuie să avem în vedere și respirația care are loc concomitent. În cazul în care nu ținem seama de intensitatea respirației, determinăm ceea ce numim fotosinteza aparentă, fig. 3. Dacă determinăm și intensitatea respirației și adăugăm valoarea obținută la aceea a fotosintezei, obținem ceeace numim fotosinteza reală fig. 34.

I.

Metode bazate pe absorbția CO_2 din aer

Metoda curentului de aer. Frunza a cărei fotosinteză vrem să o determinăm, o ținem într-un vas transparent B. fig. 35, fără a o desprinde

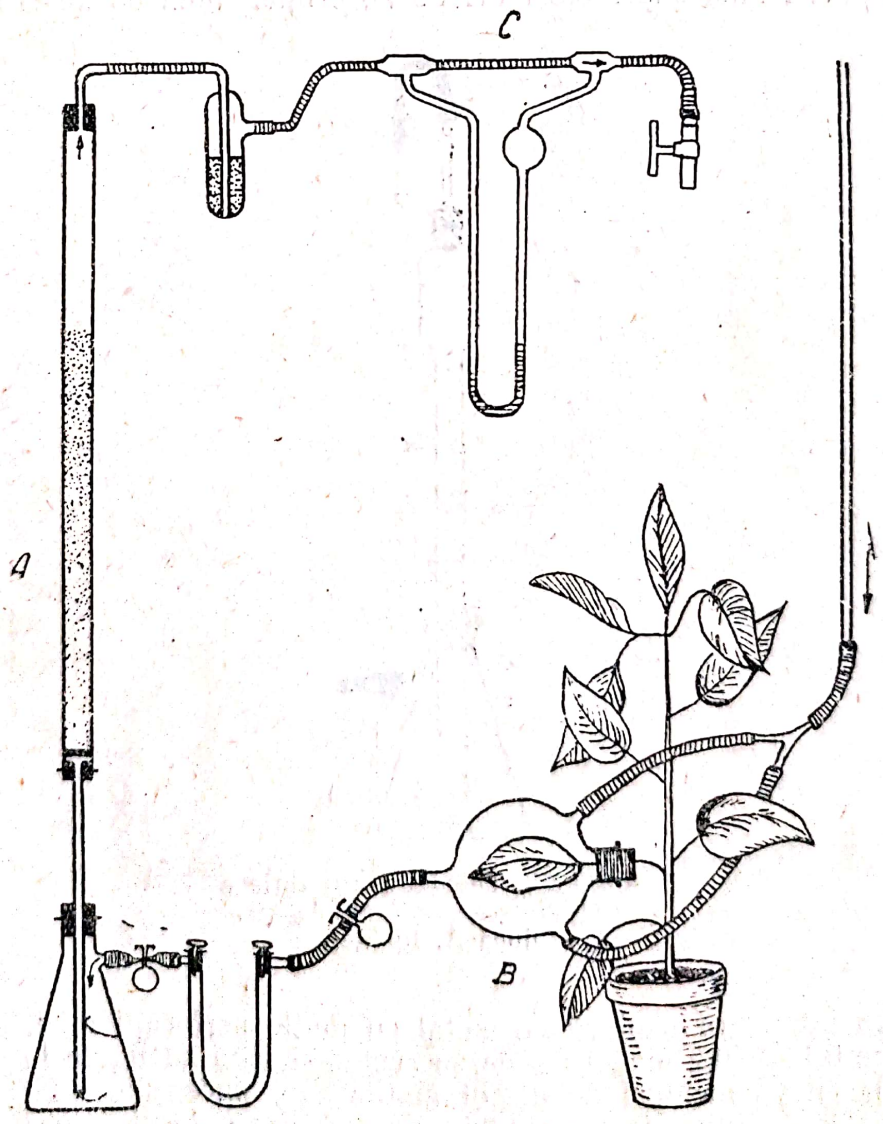


Fig. 35. Metoda curentului de aer. A, tub absorbant pentru CO_2 B, camera de asimilație C, reometru. (După N. A. Maximov).

de plantă. Prin acest vas, numit vas de asimilație B, trecem un curent constant de aer produs cu o trompă de vid, cu o pompă sau prin scurgerea apei dintr-un vas în alt vas. Viteza curentului de aer o reglăm în așa fel, încît concentrația CO_2 din aer să scadă cu 25% pînă la 35%, adică să ajungă dela 0,3‰ la 0,2—0,25‰. Determinăm cantitatea de aer trecut peste frunză, ceea ce putem să realizăm captînd volumul de aer trecut peste frunze, într-un vas din care am scurs apa, sau cu ajutorul unui gazometru, sau a unui reometru gradat. Determinăm în același timp concentrația CO_2 din aerul obișnuit înainte de a trece peste frunze, și din aerul trecut peste frunze. Diferența reprezintă CO_2 asimilat de frunză. Analiza CO_2 din curentul de aer, se poate face prin mai multe mijloace. Deobicei ne servim de însușirea pe care o are CO_2 de a forma cu apa, acid carbonic, pe care îl determinăm pe cale titrimetrică, servindu-ne ca indicator de fenolftaleină, sau facem titrarea potențiometrică, servindu-ne de un electrod de sticlă. În vederea absorbției depline a CO_2 din curentul de aer, îl facem să barboteze sub formă de bule mici, trecîndu-l printr-un tub de absorbție A, fig. 35, ce conține $Ba(OH)_2$ cu titrul cunoscut. În vederea obținerii unei suprafețe mari de absorbție, tubul de absorbție are la

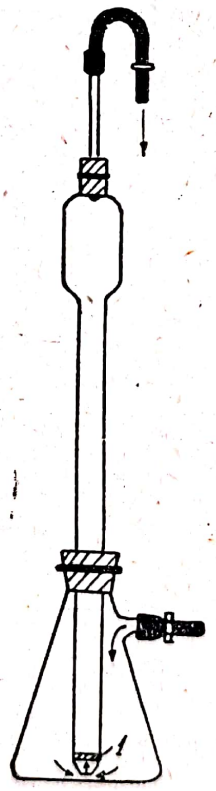


Fig. 36. Tubul de absorbție a CO_2 dintr-un curent de aer, după A. Richter.

partea sa inferioară o placă de metal cu multe perforații mici, cu diametrul între 0,15 și 0,2 mm. În vederea aceluiași scop adăugăm la soluția de $Ba(OH)_2$ cîteva picături de alcool amilic care micșorînd mult tensiunea superficială a soluției face posibilă o spumegare puternică a ei.

Scanned with OKEN Scanner

În loc de titrarea $Ba(OH)_2$, putem stabili concentrația hidratului în exces, prin concuctometre. Această metodă are avantajul de a fi foarte exactă, permițînd determinarea a 10^{-7} g. CO_2 și totodată permite executarea rapidă a determinării, fără ca hidratul să vie în contact cu aerul.

Un tub absorbant pentru CO_2 din curentul de aer, este acela al lui A. A. Richter, fig. 36. Acesta are la capătul inferior o placă de sticlă poroasă sub care tubul e îngustat. Diametrul tubului e de 20—25 mm. iar lungimea de 40 cm. Cu acest tub se poate absorbi CO_2 dintr-un curent de aer cu un debit pînă la 30 l. pe oră.

Camerele de asimilație au forme și dimensiuni diferite. Pentru frunze mai mult sau mai puțin rotunde, se folosesc de obiceiu camere de asimilație sferice, cu tuburi laterale, pentru intrarea și eșirea aerului și cu un orificiu mai larg, pentru introducerea frunzei.

În vederea reducerii spațiului mort, se folosesc adeseori camere de asimilație turtite, cum sînt aceea folosită de M. Willstätter și A. Stoll, fig. 38 și aceea din fig. 37.

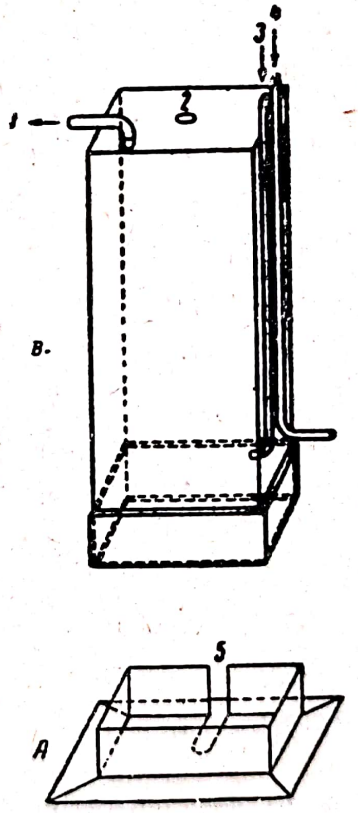


Fig. 37. Camera pentru determinarea fotosintezei unei plante întregi. Partea inferioară A se așează pe teren la baza tulpinei, iar cu partea B, se acoperă întrega plantă. (După B. A. Rubin, 1954).

Pentru frunze lungi ca cele ale cerealelor, se folosesc camere de asimilație tubulare. Pentru determinarea fotosintezei unei plante întregi, ne servim de camere de asimilație mai mari, în care introducem întreaga porțiune aeriană a plantei. Un exemplu de astfel de cameră, e reprezentat

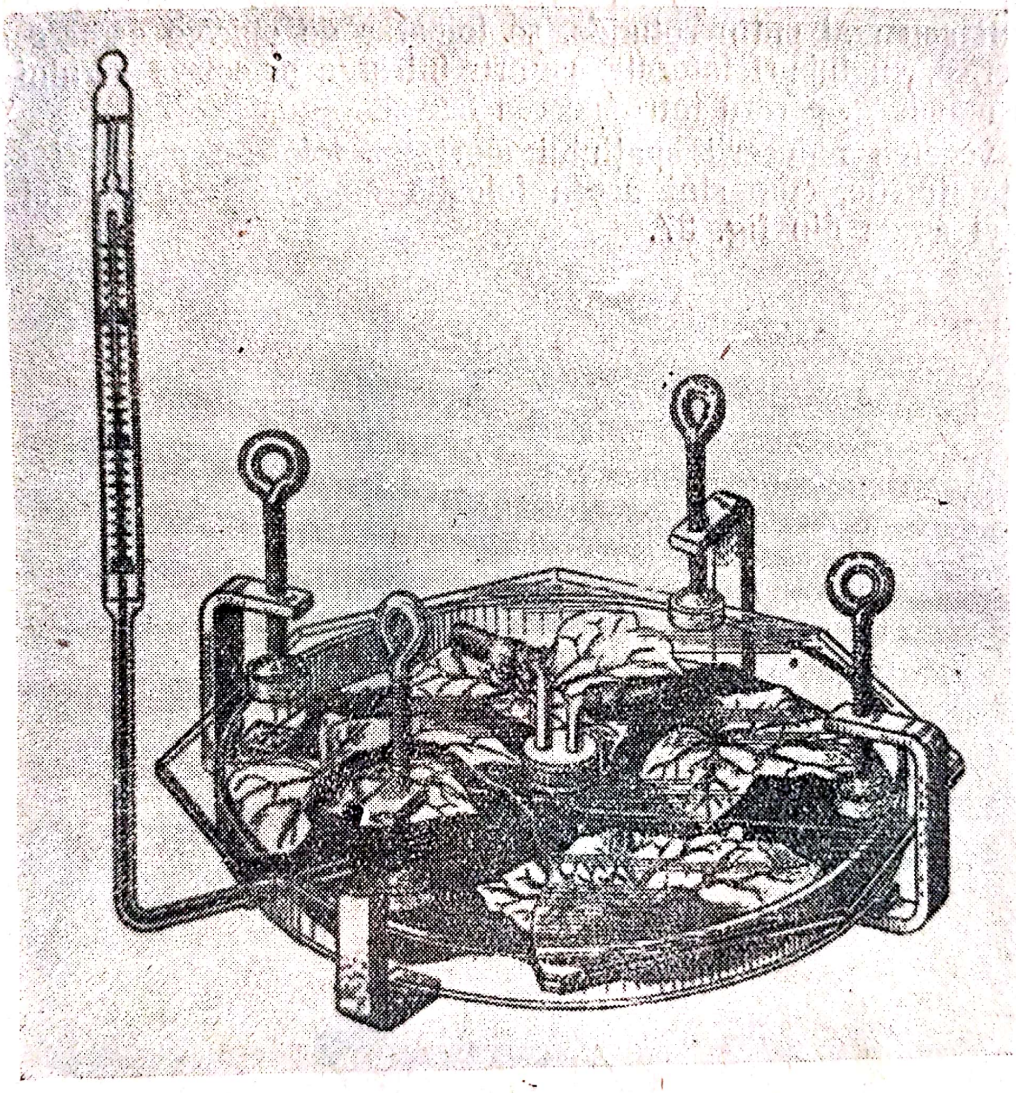


Fig. 38. Camera pentru determinarea intensității fotosintezei (După R. Willstätter).

Scanned with OKEN Scanner

în fig. 39. Pentru determinarea fotosintezei plantelor mai mari, de exemplu a unui pom, se construiesc camere de asimilație care cuprind tulpina și toate ramurile pomului, ca în fig. 39.

S-au elaborat metode pentru determinarea concentrației CO_2 direct în curentul de aer, ne mai fiind nevoie de a-l absorbi cu diferite soluții. Astfel de metode sînt bazate pe modificarea conductibilității termice a aerului,

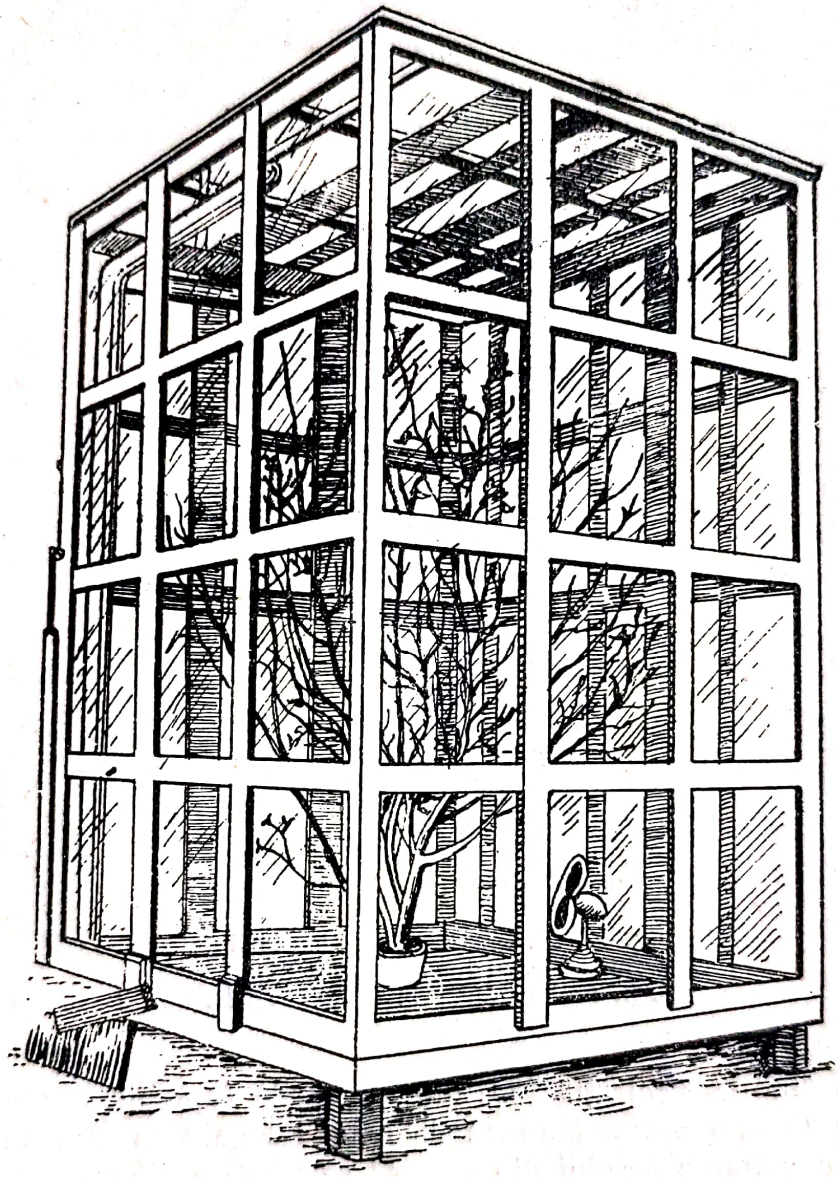


Fig. 39. Camera pentru determinarea intensității fotosintezei unui pom. (după N. A. Maximov 1948).

de către CO_2. Metoda constă în determinarea vitezei de răcire a unui conductor încălzit cu ajutorul curentului electric. Variația concentrației CO_2 din aer, influențează mai mult conductibilitatea termică, decît variația concentrației de oxigen. O altă metodă, se bazează pe spectrofotometrie, determinînd cu spectrofotometrul razele cu lungimea de undă 4,2$m\mu$-4,3$m\mu$ care sînt puternic absorbite de CO_2. Pe astfel de principii, s-a putut

elabora și aparate care înregistrează automat concentrația CO_2 din curentul de aer.

Pentru determinări pe teren, se poate folosi metoda lui L. A. Ivanov modificată de D. A. Komisarov. O ramură cu frunze desprinsă de plantă, se ține cu capătul într-o eprubetă cu apă, într-un flacon Erlenmayer, de 1,2—1,5 l. ca în fig. 40. Flaconul se expune la lumină, timp de 5—10

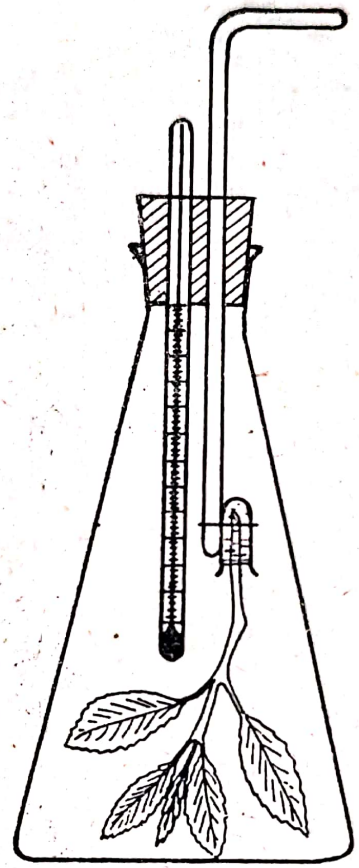


Fig. 40. Determinarea intensității fotosintezei după metoda lui L. A. Ivanov (după B .A. Rubin 1954).

minute, pînă cînd concentrația CO_2 din aer scade (aproximativ cu 25%). Din timp în timp, răsucim bagheta de care e legată ramura cu frunze, astfel ca prin agitarea aerului din vas, să se ușureze difuziunea CO_2. La sfîrșitul experienței, scoatem repede ramura împreună cu dopul și închidem vasul Erlenmayer cu un dop de rezervă, prevăzut cu un orificiu prin care introducem 20 cm² $Ba(OH)_2$ n/40. Absorbția deplină a CO_2 are loc după 15—20′, prin agitarea din cînd în cînd a flaconului. După aceea titrăm excesul de $Ba(OH)_2$, cu HCl n/40. Concomitent, se experimentează cu trei flacoane, dintre care unul servește la analiza CO_2 din aer, altul la determinarea intensității fotosintezei și al treilea la determinarea intensității respirației.

II

Metode bazate pe producerea de oxigen

O metodă foarte simplă, este aceea de a ține ramuri de plante submerse de Elodeea, Cabomba, Myriophyllum, scufundate în apă de izvor, în vase de sticlă expuse la lumină, fig. 41. După scurt timp, încep să se degaje din suprafața de secțiune bule de gaz. Acestea pot fi captate într-o eprubetă cu apă, ca în fig. 41. Gazul degajat de plantă e relativ bogat în oxigen, căci un beţişor de lemn cu puțin jăratic se aprinde în el. Ana-

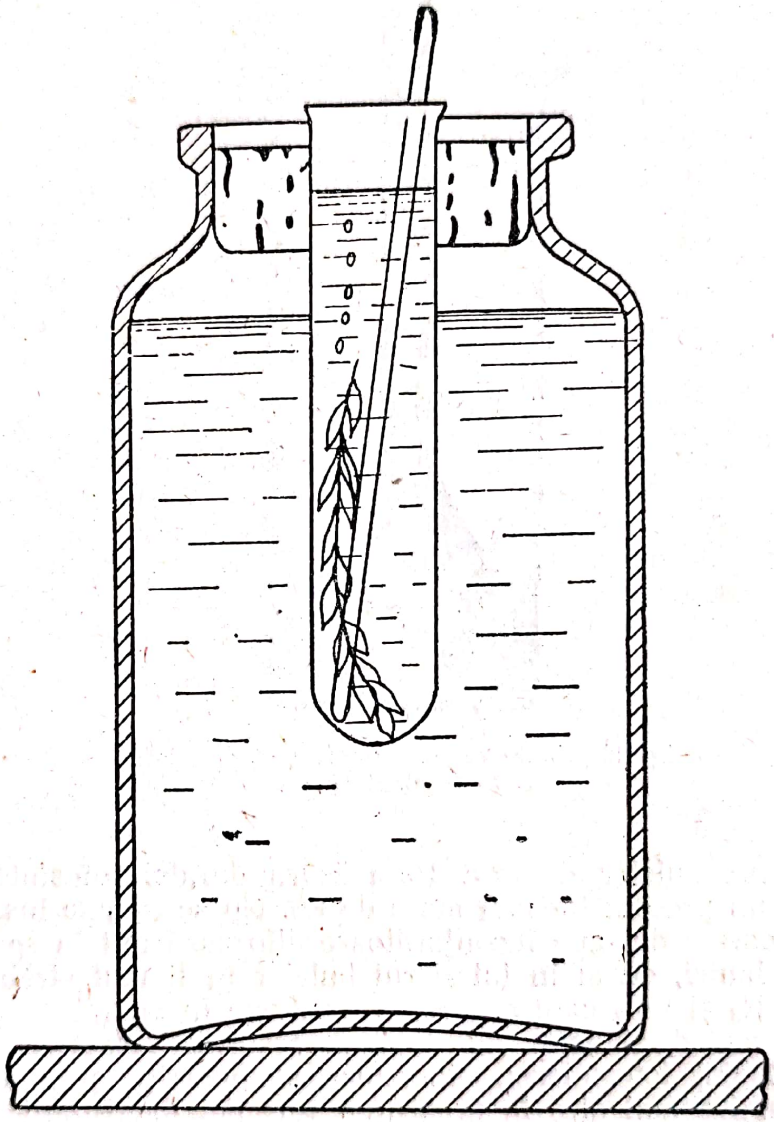


Fig. 41. Metoda numărării bulelor de gaz.

lizînd gazul degajat constatăm că el conține cu atît mai mult oxigen, cu cît ritmul bulelor emise e mai viu. Așa de exemplu, la un ritm de 20 bule în 6 secunde, gazul conține 40,7% O_2, 59,7% N_2 și 1,6% CO_2, iar la ritmul de 20 bule în 17 secunde, bulele conțin 30,14% O_2, 69,86% N_2 și 1,1% CO_2. Originea gazului emis de plantă, e următoarea: CO_2 din spațiile intercelulare ale plantei, e absobit de celulele verzi și în

locul lui apare O_2 produs în fotosinteză. La început, presiunea gazului nu crește în spațiile intercelulare, deoarece O_2 emis e de volum egal cu CO_2 absorbit. Scăzînd concentrația CO_2 în spațiile intercelulare, difuzează aici o nouă cantitate de CO_2 din apa înconjurătoare. Totodată, crescînd concentrația O_2 în aerul din spațiile intercelulare, o parte din O_2 difuzează de aici în apa înconjurătoare. Din cauza vitezei de difuziune în apă mai mare a CO_2 decît a O_2, presiunea crește în spațiile intercelulare, ceeace

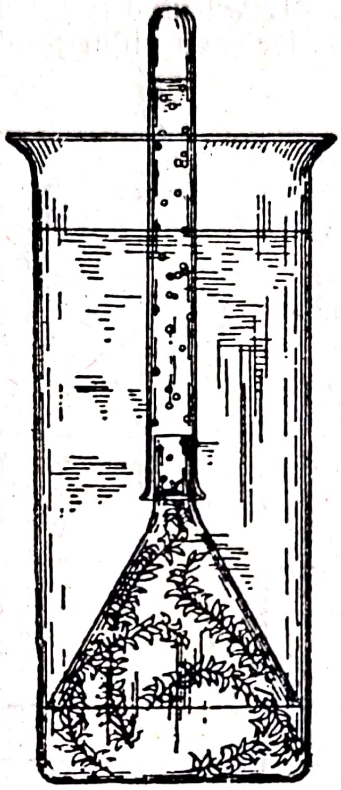


Fig. 42. Captarea bulelor de gaz degajate în fotosinteză.

determină eșirea bulelor de gaz. Pe măsura duratei fotosintezei, bulele emise, conțin un procent tot mai mare de O_2. Nu se ajunge însă niciodată la O_2 pur, deoarece din apa înconjurătoare difuzează atît în spațiile intercelulare ale plantei, cît și în interiorul bulelor în timpul străbaterii stratului de apă, N_2 și CO_2 care se găsesc dizolvate în apă.

Deși cu metoda bulelor nu obținem rezultate exacte, ea este des folosită în studiul fotosintezei, din cauza simplicității și a sensibilității sale. Ea se aplică mai ales la urmărirea variației intensității fotosintezei în funcție cu diferiți factori ai mediului înconjurător.

La plante submerse, putem determina exact cantitatea oxigenului produs în fotosinteză, determinînd oxigenul dizolvat în apă. În vederea acestui scop, e des folosită metoda iodometrică a lui Winkler, în care O_2 dizolvat în apă, este absorbit în întregime cu hidratul manganos — $Mn(OH)_2$, care se oxidează în hidrat manganic $(OH)_3$, în mediu alcalin. În mediu acid, manganul trece din nou în forma bivalentă, oxidînd prin aceasta HI, în I_2 și H_2O.

Cantitatea de I_2 produs, corespunzătoare cantității O_2 dizolvat în apă, se determină titrimetric.

Pentru determinare, ținem planta submersă într-un flacon mare umplut complet cu apă, al cărei conținut în O_2 e cunoscut. Expunem flaconul la lumină, agitînd din timp în timp, pentruca întreaga cantitate de O_2 produsă de plantă, să difuzeze și să se dizolve în apă. După aceea, analizăm conținutul în oxigen al apei.

Foarte sensibile sînt așa numitele metode fiziologice, bazate pe modificarea anumitor fenomene fiziologice ale bacteriilor, în funcție de concentrația oxigenului din mediul înconjurător. Așa de exemplu, metoda lui Beijerinck M. W. se bazează pe emiterea luminii de către bacteriile fosforescente, fenomen care are loc numai în prezența O_2. Dacă se amestecă alge cu o cultură de bacterii fosforescente, atunci la întuneric, cultura își pierde fosforescența, deoarece O_2 din apă e consumat de bacterii și de alge, în fenomenul respirației. Trecînd cultura la lumină, ea devine din nou fosforescentă, căci algele produc în fotosinteză O_2.

Observația fosforescenței se face trecînd cultura din nou la întuneric, unde fenomenul emiterii luminii mai durează cîtva timp, pînă cînd întreaga cantitate de O_2 e din nou consumată de alge și bacterii.

Metoda lui Engelman constă în următoarele: se pune pe lamă microscopică o picătură dintr-un mediu de cultură lichid, cu bacterii sensibile față de oxigen, de ex. Bacterium vulgare. În picătură așezăm un fir de algă, de ex. Spirogyra și acoperim cu lamela, iar marginile lamelei le ungem cu vaselină, spre a împiedica pătrunderea oxigenului din atmosferă. Observînd la microscop, constatăm mișcări vii ale bacteriilor, dar cu timpul acesta încetează, din cauză consumării oxigenului, dizolvat în mediul de cultură. Totodată bacteriile rămîn repartizate uniform, în cîmpul microscopic, ca în fig. 43, I. Ținînd preparatul la

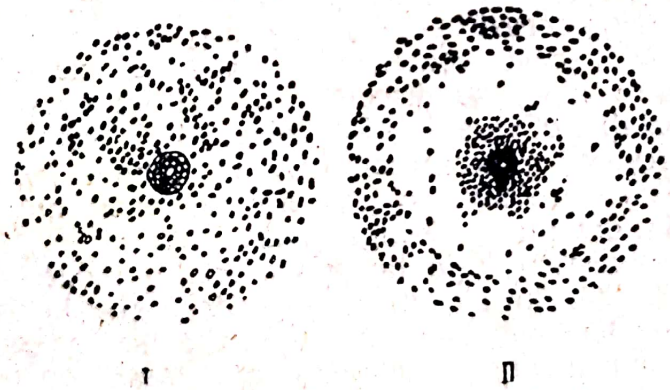


Fig. 43. Metoda bacteriilor a lui Engelmann. I. Alga unicelulară la întuneric ; bacteriile se răspîndesc uniform în mediul înconjurător. II. La același preparat după o scurtă iluminare. (După Engelmann).

lumină, bacteriile se îngrămădesc în jurul algei, deoarece aceasta emite oxigen în fenomenul fotosintezei fig. 43, II. Metoda este foarte sensibilă, permițînd punerea în evidență a suta bilioana parte dintr-un miligram de oxigen. Utilizînd alte bacterii, de ex. spirili, și alte microorganisme ca infuzorii, flagelate sau spermatozoizi de arici de mare cu sensibilitate gradată față de concentrația O_2, ne putem da seama într-o măsură oarecare și de cantitatea O_2 emis de algă.

Scanned with OKEN Scanner

În timpul din urmă în cercetările asupra fotosintezei, se folosește tot mai des metoda manometrică. Aceasta a fost adaptată la studiul fotosintezei algelor de către O. Warburg. Metoda constă în expunerea la lumină a unei suspensii de alge unicelulare într-o soluție tampon pentru CO_2. Expunerea se face într-un vas mic transparent la care se adaptează un manometru capilar fig. 44. Determinările se fac într-un termostat cu apă, iar aparatul se agită tot timpul cu un dispozitiv mecanic, fig. 44. Soluția tampon pentru CO_2 Warburg, constă dintr-un

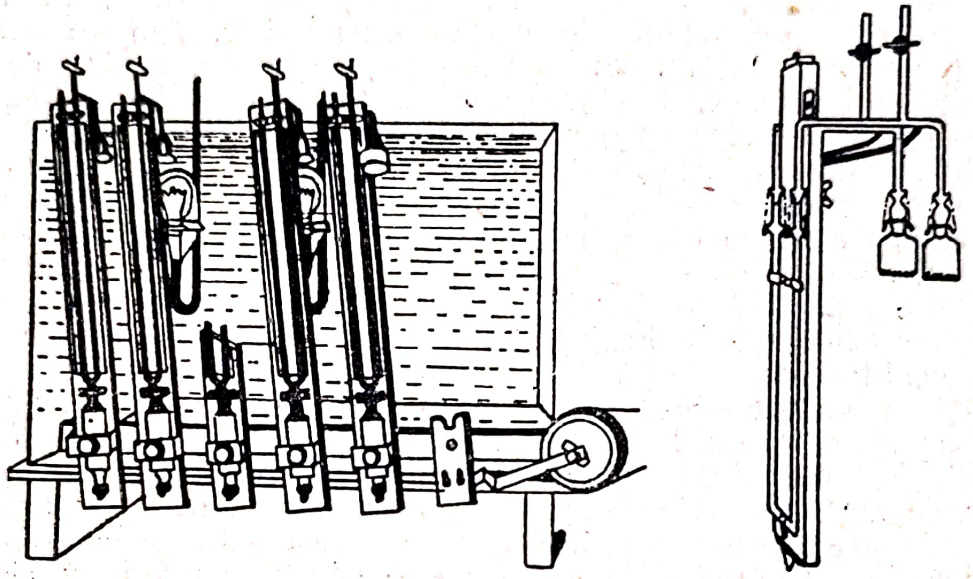


Fig. 44. Aparatura lui O. Warburg pentru determinarea fotosintezei. (După Rabinovici),

amestec de $CO_3(Na)_2$ și CO_3HNa în proporțiile din tabela alăturată. Modul în care funcționează soluția Walburg este următorul: cînd în mediul înconjurător scade concentrația CO_2, de exemplu prin asimilarea lui de către alge, se disociază o cantitate corespunzătoare de CO_3HNa după relația $2CO_3HNa \rightarrow CO_3Na_2+H_2O+CO_2$.

În cazul creșterii concentrției CO_2 în soluție, de exemplu prin producerea CO_2 de către alge la întuneric, în fenomenul respirației, are loc reacția de la dreapta la stînga, adică excesul de CO_2 e fixat de CO_3Na_2. În felul acesta soluția tampon Warburg reduce în mod practic variația tensiunii CO_2 în mediul înconjurător, atît în fenomenul fotosintezei cît și în fenomenul respirației. În ambele cazuri se schimbă numai tensiunea oxigenului O_2, și aceasta e redată de manometru. Posibilitatea de tamponare a soluției Warburg e destul de mare. Așa de ex. un cm^3 de soluție alcătuită din 85 milimoli CO_3HNa și 15 milimoli CO_3Na_2 produce 10 cm^3 CO_2 fără ca să se schimbe simțitor tensiunea parțială a CO_2 din faza gazoasă în echilibru cu soluția. Variind concentrația CO_3HNa și a CO_3Na_2 în amestec se obțin soluții în echilibru cu concentrații diferite a CO_2, cum se vede în tabela 1.

Din cauza pH relativ ridicat al soluțiilor Warburg, se pot folosi cu succes numai alge rezistente, în astfel de condiții. O astfel de algă e de ex. Chorella pyronoidosa. Chiar această algă asimilează în soluțiile Warburg cu 20-50% mai puțin intens decît în mediile slab acide. De aceea determinările nu trebuiesc prelungite prea mult, cum a arătat

Soluțiile tampon Warburg la 25 C°

Tabela nr. 1

Nr. soluției	Conținutul în milimoli	CO_3Na_2 CO_3HNa	Conținutul în milimoli Na	Conținutul CO_2			pH soluției
				în sol. mol/l	în aer mol/l	în aer mg/l	
1	85	15	185	$0{,}53.10^{-6}$	$0{,}64.10^{-6}$	0.03	10.42
2	80	20	180	1,0 „	1.2 „	0,05	10,30
3	75	25	175	1,7 „	2,0 „	0,09	10,19
4	70	30	170	2,6 „	3,1 „	0,13	10,10
5	60	40	160	5,3 „	6,4 „	0,28	9,93
6	50	50	150	9,8 „	11,8 „	0,52	9,79
7	35	65	135	23 „	27 „	1,20	9,51
8	25	75	125	43 „	52 „	2,30	9,32
9	15	85	115	91 „	110 „	4,85	9,08
10	10	90	110	150 „	180 „	7,90	8,91
11	5	95	105	330 „	400 „	17,6	8,69

S. Prát. Ceva mai bine suportă algele, soluțiile tampon pentru CO_2 alcătuite din CO_3K_2 și CO_3HK sau și mai bine soluțiile în care una din cele două săruri conține Na și cealaltă K.

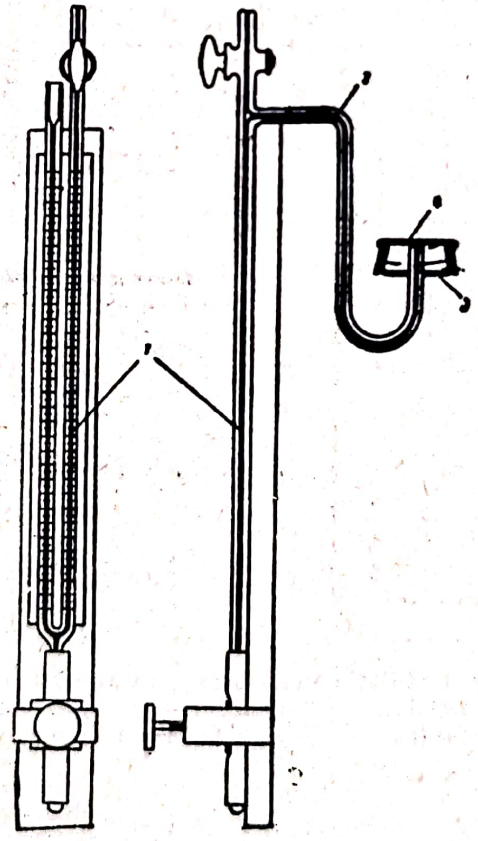


Fig. 45. Aparatura lui O. Warburg adaptată pentru determinarea fotosintezei organelor aeriene. A—văzut din față, B-văzut lateral. 1—manometrul; 2—tub capilar; 3—vas de asimilație; 4—capac. (După B. A. Rubin 1954).

La plantele aeriene, metoda manometrică a fost adoptată de Katunskii. Așa cum se vede în fig. 46. În acest caz, o porțiune mică din frunză se expune la lumină, în vasul de asimilație, deasupra soluției Warburg. De obicei se folosește soluția tampon Warburg Nr. 6 alcătuită din 15 cm^3 CO_3Na_2 m/10 și din 85 cm^3 CO_3HNa m/10, care la 20°C este în echilibru cu concentrația CO_2 din aerul atmosferic.

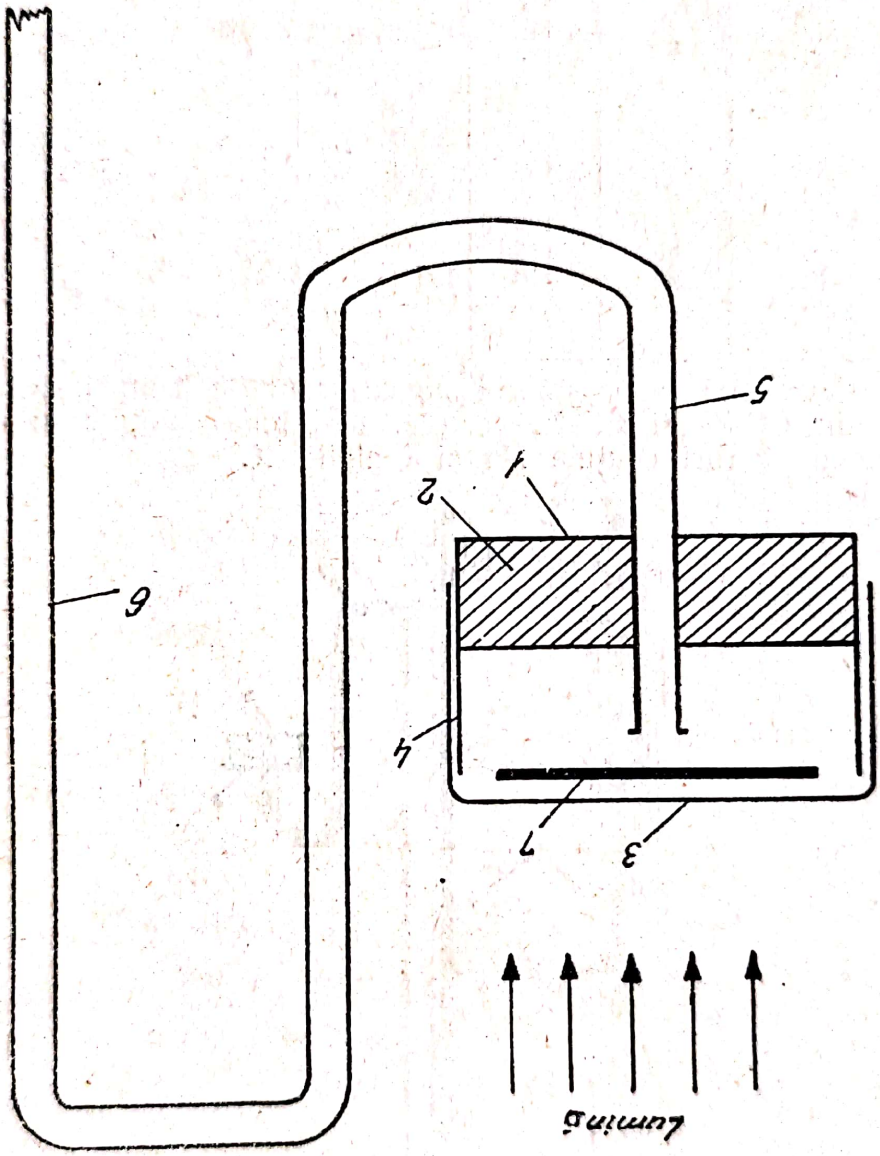


Fig. 46. Vas de asimilație pentru organe aeriene, după Katunskii.
1—peretele vasului, 3—capacul, 2—soluția tampon Warburg,
7—frunza, 5—capilar, 6—manometru.

Avantajele metodei manometrice sînt următoarele: se păstrează constante condițiile de experimentare, ca temperatura, concentrația CO_2 și intensitatea luminii. Se pot face determinări în serie, la intervale mici de timp, și cu o cantitate mică de material experimental. Neajunsul

acestei metode constă în faptul că din cauza difuziunii încete a CO_2 din faza lichidă în faza gazoasă, valorile obținute cu ajutorul ei, sînt mai mici decît cele normale. Spre a înlătura acest neajuns, A. A. Niciporovici recomandă folosirea unei soluții tampon cu un conținut mai ridicat în CO_3HNa, de exemplu amestecul numărul 9, în loc de amestecul 6, care e în echilibru cu concentrația CO_2 din aer.

III. Metode bazate pe producerea substanței organice

La frunzele care produc amidon la lumină, punem în evidență fotosinteza cu ajutorul acestuia, făcînd proba cu iod a lui J.Sachs. În vederea acestui scop, se extrag din frunze pigmenții prin fierbere cu alcool și apoi se tratează frunza decolorată cu o soluție de iod în iodură de potasiu. Apariția unei culori albastre sau brune, denotă prezența amidonului și deci și a fotosintezei. Prin expunerea la lumină numai a unei părți a frunzei, amidonul e sintetizat numai în partea respectivă. Dacă expunem la lumină o frunză acoperită cu un negativ fotografic, obținem la frunză cu proba de iod a lui Sachs pozitivul, fig. 47. Proba

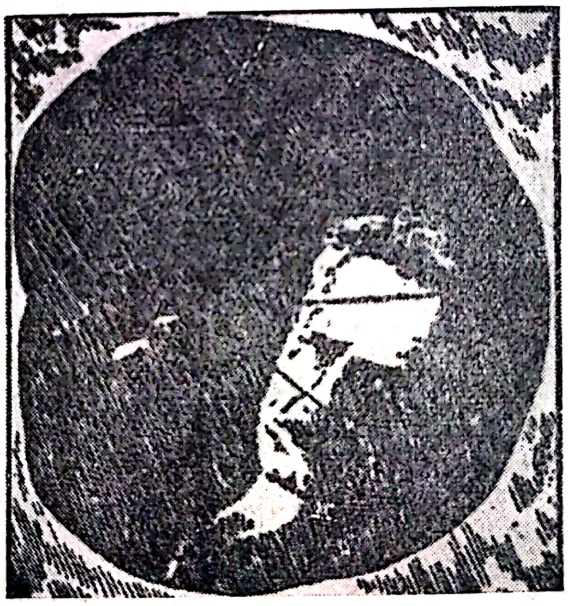


Fig. 47. Proba cu iod efectuată la o frunză expusă la lumină sub un clișeu negativ. (După N. A. Maximov 1948).

cu iod a lui Sachs, se poate face și histochimic pe secțiuni, prin frunza expusă la lumină sau la o frunză de Elodeea. În acest caz, constatăm localizarea amidonului în interiorul cloroplastelor, fig. 48.

Pentru determinări cantitative, mai ales în condiții de teren, e folosită metoda jumătăților de frunză, a lui J. Sachs.

Dimineața înainte de începerea fotosintezei, se aleg frunze simetrice la care se taie cîte o jumătate a limbului care se pune la uscat. Jumătățile rămase asimilează pînă seara, cînd se taie și ele și se pun la uscat. După ce au ajuns la greutate constantă, se cîntăresc. Greutatea în plus la jumătățile expuse la lumină, reprezintă cantitatea de sub-

stanțe organice produse de frunză în timpul fotosintezei. La această greutate, trebuie să facem anumite corectări, care constau în adăogarea substanței organice consumate peste zi în fenomenul respirației, precum și a substanțelor organice conduse de frunze în decursul zilei. Pe acestea le evaluăm cîntărind greutatea uscată a unor jumătăți de frunză, culese

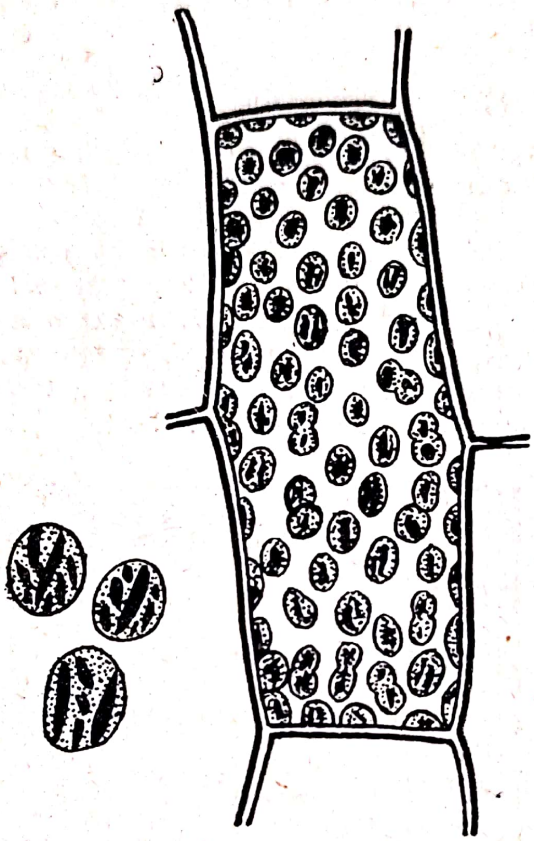


Fig. 48. Granule de amidon în cloroplastele frunzei de Elodeea. (După N. A. Maximov 1948)

seara și greutatea uscată a jumătăților rămase peste noapte, în dimineața următoare. Greutatea în minus a acestora din urmă, reprezintă tocmai substanțele organice transportate în timpul nopții, precum și acele consumate prin respirație. Presupunem că atît respirația cît și conducerea substanțelor organice, au loc cu intensitate egală la întuneric ca la lumină. Cu metoda jumătăților de frunze, se comit greșeli mari, mai ales din cauza nesimetriei frunzelor. Aceste erori pot fi în parte micșorate, dacă în loc de a folosi jumătăți întregi de frunze, tăiem cu ajutorul perforatorului sau a unui cuțit, rondele sau dreptunghiuri egale ca suprafață și ca număr, din cele două jumătăți ale frunzelor, evitînd pe cît posibil, nervurile.

Și mai exact decît prin metoda jumătăților de frunze, se poate determina intensitatea fotosintezei unei plante prin creșterea masei sale de substanțe organice. Metoda se execută în condiții de cîmp, unde avem la îndemînă un număr mare de plante. Alegem un număr mai mare de plante, pe cît se poate egala, ca înălțime, ca număr de frunze, ca lungime și lățime a frunzelor, ca număr de flori, etc. Luăm 50-100

plante din lotul ales și le determinăm greutatea proaspătă și apoi greutatea uscată. La luarea probei avem grijă să nu pierdem nici rădăcinile plantei, extrăgîndu-le cît mai bine din sol, și spălîndu-le cu un curent de apă. După 7-10 zile, recoltăm în mod asemănător, și restul de 50-100 plante, cărora de asemenea la luăm greutatea proaspătă și uscată. Diferența greutății uscate în plus, reprezintă substanța organică asimilată în intervalul de timp respectiv. Intensitatea fotosintezei, o exprimăm la unitatea de suprafață a frunzelor, de ex. m^2/oră sau dm^2/oră, sau la unitatea de suprafață a terenului cultivat, de ex m^2 sau ha. Suprafața frunzei o deterinăm din greutatea proaspătă a frunzelor, stabilind cu ajutorul rondelelor de frunză, suprafața frunzei corespunzătoare la 100 gr. de frunze. În intervalul de timp de 7-10 zile cît durează experiența, suprafața foliară a crescut. Presupunînd că creșterea suprafeței foliere are loc în mod liniar, exprimăm rezultatele la media suprafeței foliare dintre începutul și sfîrșitul experienței, după formula :

$$\text{S. a.} = \frac{M^2 - M^1}{(T_2 - T_1)\ 1/2\ (S_1 + S_2)}\ g\ m^2\ zile$$

În care S.a. reprezintă substanța asimilată, M_2 greutatea uscată a plantei la sfîrșitul experienței, iar M_1 greutatea substanței uscate a plantelor la începutul experienței. $T_2 - T_1$ reprezintă numărul de zile cît durează experiența. S_1 reprezintă suprafața frunzei plantelor la începutul și S_2 la sfîrșitul experienței. Se poate calcula asimilația plantelor în timp de o zi sau în timp de o oră, ținînd seama de numărul orelor de lumină din fiecare zi.

În ultimii ani, la determinrea intensității fotosintezei, se folosește tot mai mult metoda atomilor marcați. De obicei se experimentează cu CO_2 ce conține C^{14}. Acesta se pune în evidență în interiorul frunzelor cu ajutorul aparatului lui Geiger-Műller de numărare a impulsurilor, cu ajutorul radiografiei sau a unei alte metode oarecare. Metoda atomilor marcați este foarte sensibilă permițînd determinarea intensității fotosintezei la frunze mici de 2-3 cm^2, într-un interval scurt de timp, de numai 2-3 minute. Ea oferă posibilitatea cercetărilor pe teren, întrucît radiațiile C^{14} din frunze, se pot determina ulterior în laborator, la frunzele uscate, fără nici o pierdere simțitoare, întrucît C^{14} are un timp de înjumătățire a radiațiilor emise, de aproape 6000 ani.

A. A. Niciporovici descrie un dispozitiv simplu pentru astfel de determinări a intensității fotosintezei cu atomi marcați. Frunza nedesprinsă de plantă, se expune la lumină într-o cameră de asimilație 3 fig. 49, alcătuită din material plastic. Prin această cameră, se trece un curent de aer, care conține CO_2 cu C^{14}. Acest curent se realizează,

scurgînd soluția tampon Warburg nr. 7 din vasul 1 în vasul 2 prin tubul de cauciuc 6. Prin aceasta, aerul din vasul 2 trece prin camera de asimilare prin tubul 6′ și 6″ în vasul 1. Soluția tampon Warburg nr. 7 folosită în acest scop conține la litru, în afară de $NaHCO_3$ și Na_2CO_3 și o anumită cantitate de $NaHCO_3$ cu C^{14} astfel încît la 1 litru

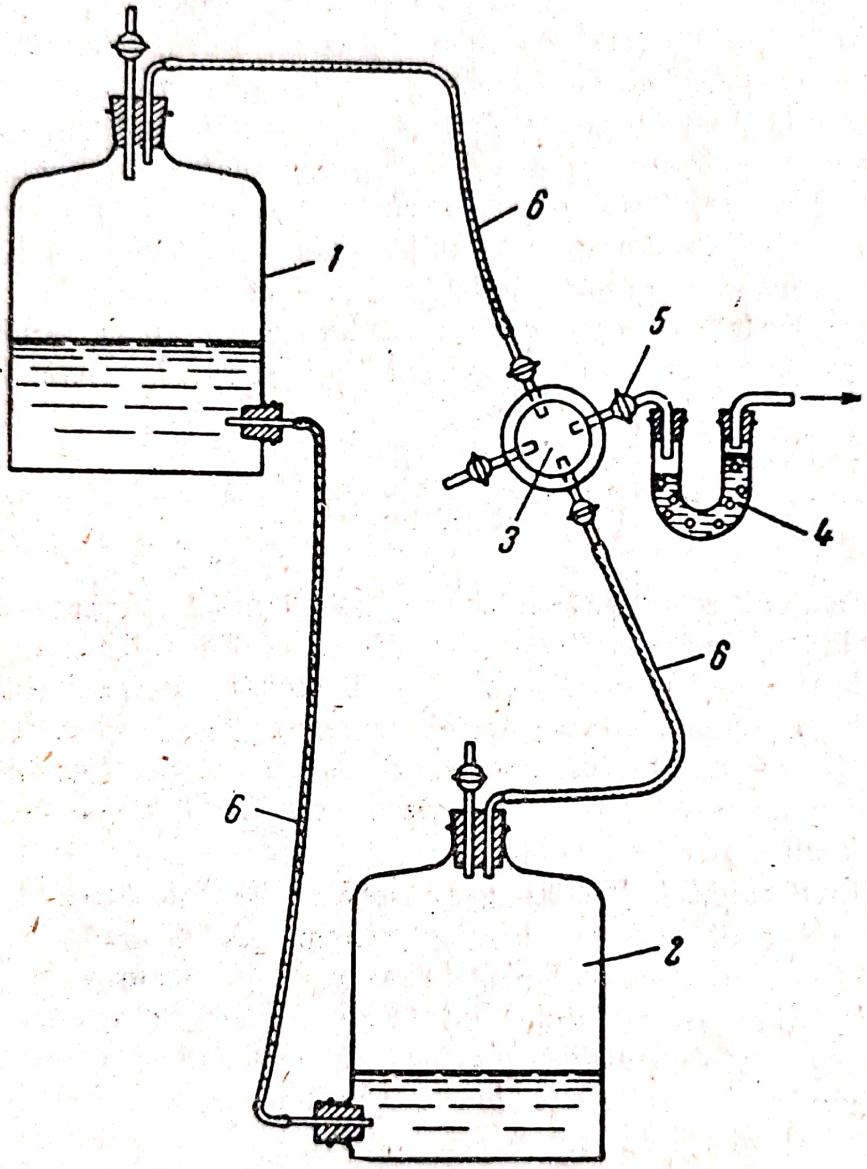


Fig. 49. Instalația pentru determinarea intensității fotosintezei cu C^{14} O_2. (După A. A. Niciporovicl 1955).

de soluție să corespundă 660 μ C sau 0,66 *MC*. Această soluție, păstrează în limite relativ mari, concentrații CO_2 în aerul în echilibru cu ea, la 1,20 Mg/l la o viteză a aerului de 6 l. pe oră. Cantitatea de $NaHCO_3$ cu C^{14} se adaugă în așa fel, încît activitatea CO_2 produs de această soluție, să fie de 0,5 μ C/mg. După mai multe determinări are loc o epuizare parțială a soluției tampon Warburg, datorită transfor-

mării unei cantități de $NaHCO_3$ în Na_2CO_3, cum se vede în fig. 50. În acest caz se înlocuește soluția cu alta proaspătă sau regenerarea soluției vechi, se face prin adăgare de 300 cm^3 $C^{14}O_2$ cu activitatea specifică de 0,15 μ C/mg.

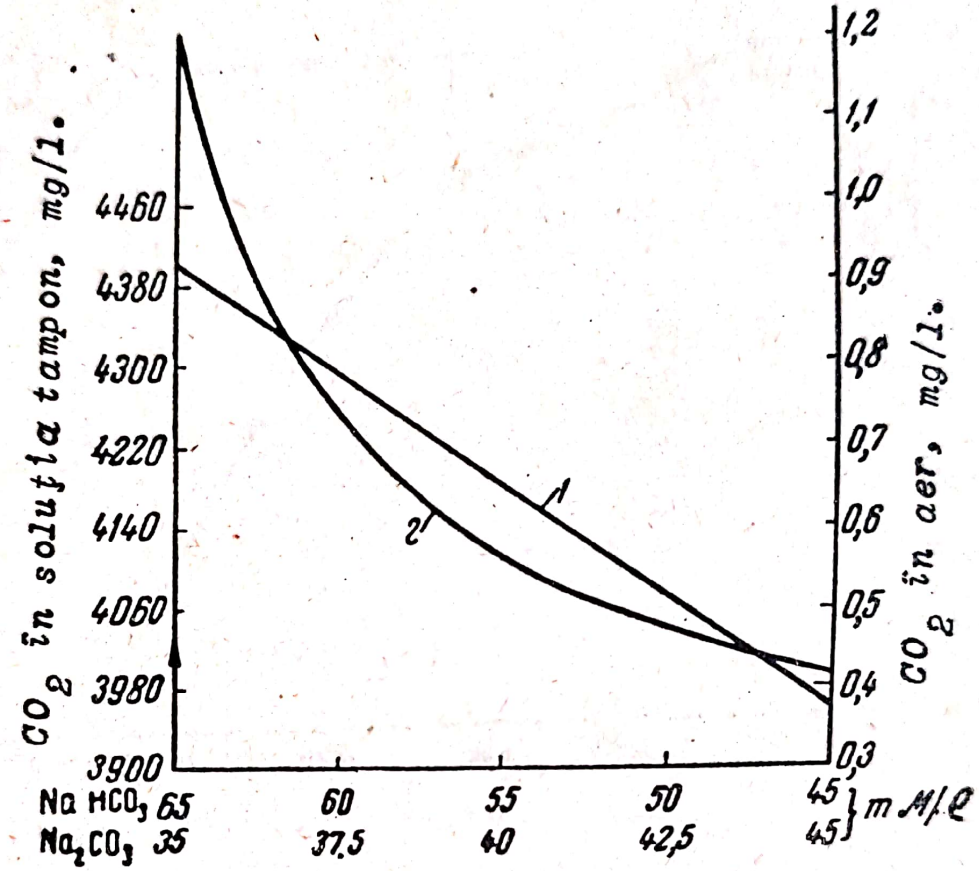


Fig. 50. Scăderea concentrației CO_2 paralel cu transformarea $NaHCO_3$ în Na_2CO_3 (după A. A. Niciporovici 1955).

Cu metoda atomilor marcați, se pot comite unele erori. Acestea provin mai ales de la adsorbția CO_2 de către frunze. Această adsorbție este relativ mare atunci cînd frunza se trece de la o concentrație mai mică de CO_2 într-o concentrație mai mare. Eroarea se poate corecta, ținînd o frunză în prealabil un timp oarecare în atmosfera cu CO_2 de concentrația la care facem determinarea. O altă eroare provine de la acțiunea radiațiilor emise de C^{14} asupra însuși fenomenului fotosintezei. In concentrație mai mare de 0,2 μ C, radiațiile au un efect de inhibare a fotosintezei, cum se vede în fig. 51. În timpul iernii, frunzele sînt cu mult mai sensibile la radiațiile substanțelor radioactive, cum arată graficul 3 din aceeași figură. Această eroare se înlătură prin folosirea în experiențe a unui aer cu un conținut mic de $C^{14}O_2$.

Deși deosebit de sensibilă, sensibilitatea metodei atomilor marcați, poate fi și mai mult mărită prin efectuarea determinărilor radiațiilor emise de C^{14} nu asupra frunzelor în stare uscată sau în stare de praf, ci asupra extractelor apoase din frunze.

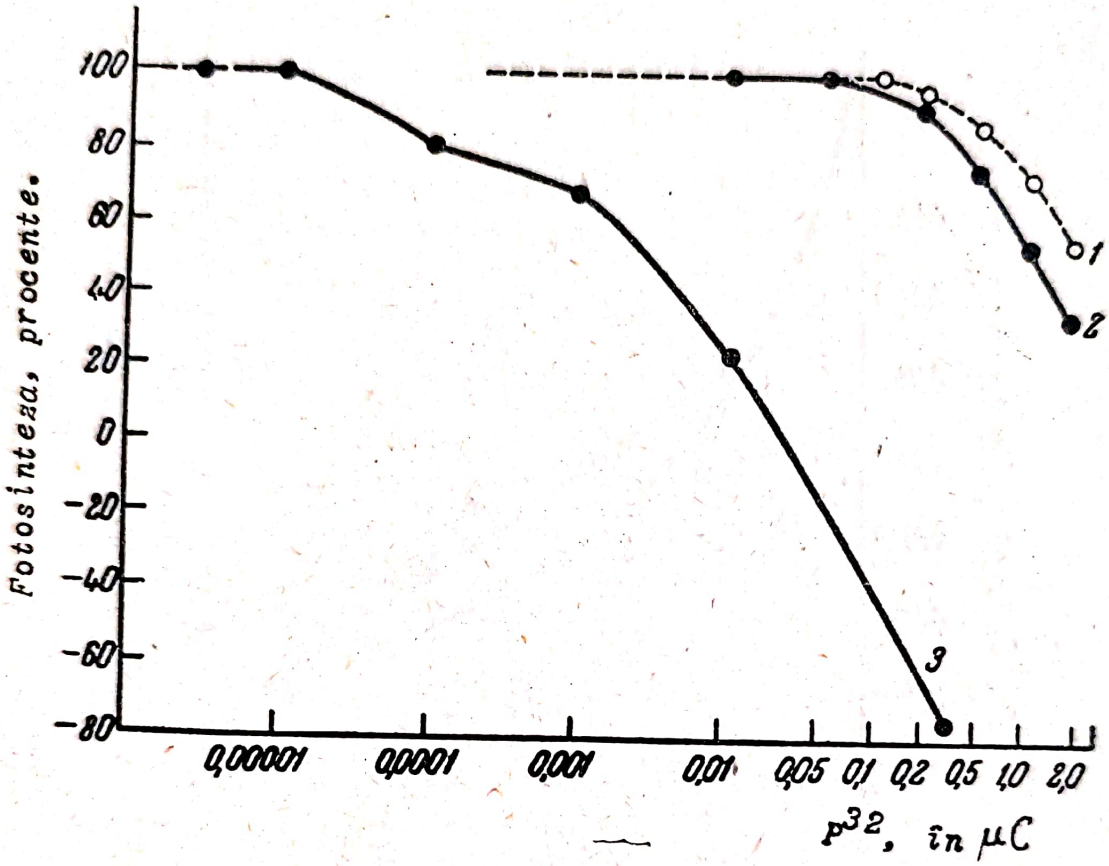


Fig. 51. Inhibarea fotosintezei sub acțiunea radiațiilor emise de C^{14}; la frunze în timpul verii 1 și 2; la frunze în timpul iernii—3 (după A. A. Niciporovici 1955).

INFLUENȚA FACTORILOR EXTERNI ȘI INTERNI ASUPRA INTENSITĂȚII FOTOSINTEZEI

Cunoașterea acțiunii diferiților factori asupra intensității fotosintezei, e de mare însemnătate științifică, deoarece cu ajutorul lor ne apropiem de cunoașterea fenomenului. Totodată, stabilirea condițiilor optime ale fotosintezei prezintă o mare însemnătate pentru agricultură. Cu ajutorul diferiților factori externi, prin intermediul fotosintezei, putem modifica însăși natura plantelor.

Metoda după care cercetăm acțiunea factorilor asupra fotosintezei constă în determinarea intensității fotosintezei în condițiile menținerii constante a tuturor factorilor, afară de unul singur pe care îl modi-

ficăm. Apoi studiem acțiunea acestui factor în legătură cu încă unul sau cu doi factori. Dintre factorii externi, mai ales concentrația CO_2, intensitatea luminii și compoziția ei, precum și temperatura, au o acțiune mare asupra intensității fotosintezei. Dintre factorii interni exercită o influență mai mare, cantitatea de apă din organele fotosintezei, cantitatea pigmenților clorofilieni și vîrsta plantelor.

I. Influența concentrației CO_2 asupra intensității fotosintezei

Numeroasele analize efectuate la diferite latitudini și longitudini, au arătat în aer o concentrație relativ constantă a CO_2 care la temperatura de 0°C și la presiunea de 760 mm. Hg, e de 0,3 cm^3 la l. sau de 0,589 mg. la l. de aer. Lundegärdh a constatat variații relativ mici ale concentrației CO_2 din aer și anume: O concentrație minimă în luna iunie, care se datorește intensității maxime a fotosintezei, și o concentrație maximă spre toamnă, datorită activității mărite a microorganismelor din sol, sub influența umidității crescute. În natură are loc o circulație continuă a CO_2. Erupțiile vulcanice mai ales acelea în stare de mofete, produc cantități enorme de CO_2. Arderile de produse petrolifere, cărbuni, lemne și alte combustibile în locuințele oamenilor și în cuptoarele fabricilor, produc de asemenea mari cantități de CO_2. O altă sursă însemnată pentru CO_2 o reprezintă respirația animalelor și a plantelor. Oamenii de pe glob, produc zilnic 1440 milioane kgr. CO_2, iar într-un an ei produc 525 miliarde kgr. CO_2. Celelalte animale produc cantități mult mai mari, iar plantele, atît cele superioare, cît mai ales cele inferioare, produc cantități enorme.

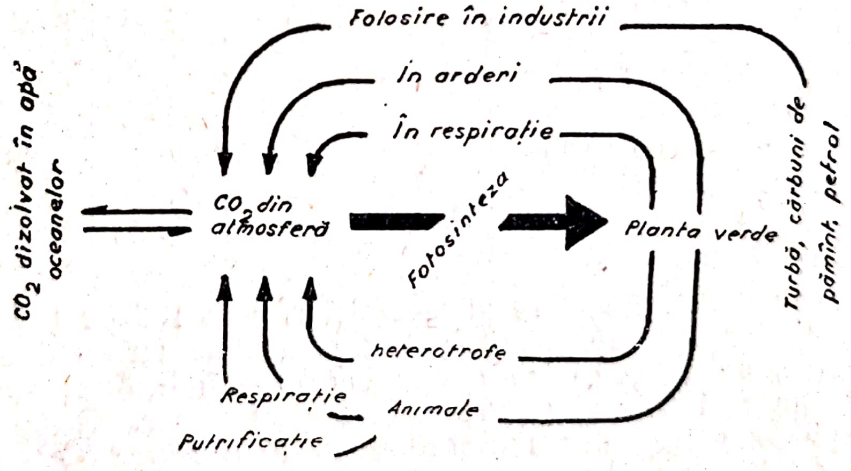


Fig. 52. Schema proceselor de producere și de folosire a CO_2 în natură (după B. A. Rubin).

Menținerea constantă a CO_2 din atmosferă se explică prin echilibrul creat între fenomenele care produc CO_2 în natură și fenomenul fotosintezei, așa cum se vede în schema alăturată fig. 52. De asemenea intervin, viteza mare de difuziune a gazelor, curenții de aer, precum și dizolvarea ușoară, și în cantități relativ mari a CO_2, în apă.

Cînd a fost descoperit fenomenul fotosintezei, numeroși oameni de știință socoteau ca imposibilă nutriția aeriană a plantelor, ținînd seama de concentrația mică a CO_2 din aer. Intr-adevăr, pentru ca o frunză să sintetizeze un gram de glucoză, ea trebuie să absoarbă întreaga cantitate de CO_2 din 2500 l. aer. Experiențele au arătat însă posibilitatea aprovizionării frunzelor cu CO_2 din aier.

CO_2 pătrunde din aerul înconjurător în frunze, prin cuticula epidermei și prin stomate. Prin cuticulă, difuzează o cantitate relativ mică de CO_2. Stahl și Meissner experimentînd cu frunze care au stomate numai pe fața inferioară, au acoperit această față cu un amestec de vaselină și ceară. Expunîndu-le la lumină ele nu au sintetizat amidon. Înțepînd apoi fața superioară a frunzelor cu acul, se formează amidon numai în vecinătatea perforațiilor, deoarece numai pe aici CO_2 a putut difuza în cantitate suficientă. Difuziunea gazelor prin deschiderile eliptice se face cu aceeași viteză ca prin suprafețele circulare egale, ceea ce ușurează calculul. În cazul deschiderilor mici, difuziunea gazelor se face după legea lui Stephan, adică nu proporțional cu suprafața de secțiune a deschiderilor, ci proporțional cu diametrul lor.

De ex. dacă prin deschiderea cu $d = 4$ mm., difuzează cantitatea de $CO_2 = 4$ mm^3, prin deschiderea cu $d = 2$ mm., difuzează cantitatea de $CO_2 = 2$ mm^3 și nu egală cu 1 mm^3. Tabela Nr. 2 arată creșterea vitezei de difuziune paralel cu micșorarea diametrului deschiderilor.

Viteza de difuziune a CO_2 în funcție de diametrul deschiderii

Tabela nr. 2

Diametrul deschiderii în mm.	22,7	12,06	6,03	3,23	2,00
Diametrul deschiderii în %	100	53	26	14	9
Difuziunea în mg. CO_2 p. 1 cm^2/oră	0,06	0,09	0,22	0,48	0,79
Difuziunea în %	100	150	366	800	1266

Din cauza numărului mare al stomatelor, cam 100 pe 1 mm^2 frunză, suma diametrelor lor este mare, și difuziunea se face repede, cam la fel de repede, ca la o frunză de pe care am îndepărtat epiderma, și pe care o ținem într-o atmosferă saturată cu vapori de apă. Cu alte cuvinte, epiderma frunzelor nu stînjenește pătrunderea CO_2 în frunze. O frunză de Catalpa absoarbe cu 1 cm^2 0,07 cm^3 CO_2 pe oră, iar o soluție de NaOH, absoarbe din aer cu suprafață de 1 cm^2 0,12-0,15 cm^3 CO_2 pe oră. Suprafața osteolelor stomatelor, reprezintă cam 1% din suprafața frunzei. De aici rezultă că prin osteole CO_2 difuzează de 50 ori mai repede ca în aer.

Într-un calcul Brown și Escombe arată că deschiderea activă a unei stomate este de 0,0000908 mm^2, care corespunde unei suprafețe circulare, cu diametrul de 0,0107 mm. Presupunînd că absorbția CO_2 de mezofilul frunzei e complectă, atunci prin 1 cm^2 frunză, pot difuza 2 cm^3 CO_2 pe oră. Frunzele însă nu asimilează pe cm^2 oră mai mult

de 0,12 cm³ CO_2. De aici se vede că prin micșorarea deschiderii stomatelor, asimilația clorofiliană e relativ puțin influentă în intensitate, spre deosebire de fenomenul transpirației, care prin închiderea parțială a stomatelor, e redus mult.

O frunză ținută la lumină într-un vas închis coboară în decurs de 8-10 minute concentrația CO_2 la 0,01-0,005% CO_2 sau la 0,15-0,10 mg. CO_2/l.

Pentru ca o frunză cu suprafață de 1 dm² care asimilează CO_2 să funcționeze în bune condițiuni e necesar ca în decurs de o oră să absoarbă CO_2 din 100 pînă la 200 l. aer, astfel încît concentrația CO_2 din mediul înconjurător să nu scadă mai mult decît cu 10-20%. Aceasta se realizează în natură dacă un strat de aer de 2 cm. grosime e deplasat în lungul fiecărei fețe a frunzei, cu o viteză de 20 m. pe oră. Un astfel de curent de aer, are loc chiar atunci cînd atmosfera pare liniștită.

Semănăturile de pe suprafață de 1 ha. asimilează în decurs de o zi în condiții obișnuite 250 kg. CO_2, în condiții bune 500 kg. și în condiții excelente 1000 kg. CO_2. Pentru ca ele să fie aprovizionate bine cu CO_2, e necesar să se deplaseze pe zi un curent de aer de 3-4 milioane m³. Un curent de aer de numai 0,5 m. pe minut deplasează zilnic în zona frunzelor de pe un ha. 3,6 milioane m³ de aer și împreună cu acesta, 1800 kg. CO_2.

În timpul zilei, adeseori se observă în semănături, o scădere simțitoare a concentrației CO_2 din aer.

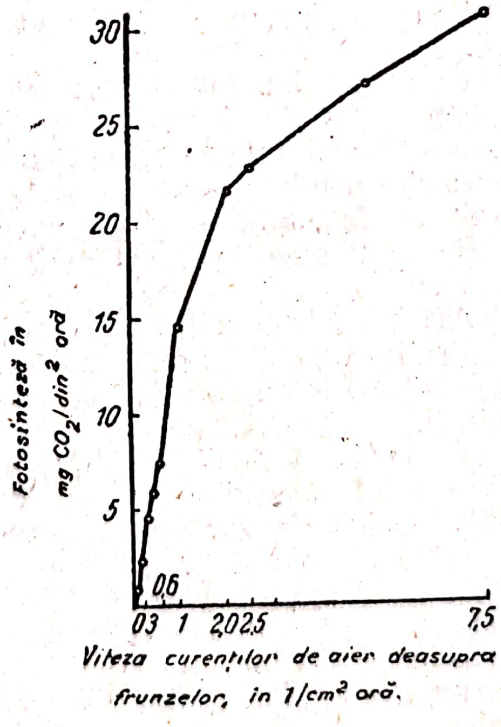


Fig. 53. Influența vitezei curenților de aer asupra intensității fotosintezei.

În lipsa completă a curenților de aer, fotosinteza scade mult. Fig. 53 reprezintă acțiunea favorabilă a curenților de aer asupra intensității fotosintezei.

Absorbția relativ intensă a CO_2 din aer de către frunze, se explică și prin suprafața enorm de mare a cloroplastelor. Așa de exemplu, la frunza de fag, suprafața cloroplastelor, e de 200 ori mai mare decît a frunzei. La un copac de 100 ani, suprafața totală a cloroplastelor reprezintă aproximativ 2 ha.

R. Willstätter și A. Stoll (1918) au arătat posibilitatea frunzelor de a absorbi CO_2 la întuneric, unde fotosinteza nu poate avea loc. Cu ridicarea temperaturii, cantitatea CO_2 absorbită de frunze la întuneric. scade de ex. la frunzele plopului piramidal de la 7,1 mg. la 3,8 mg. CO_2, la trecerea lor de la 5^0 la 26^0. La creșterea concentrației CO_2 din aer, corespunde o absorbție mărită de CO_2, de către frunze. De ex. mărind concentrația CO_2 din aer de la 1 la 19%, cantitatea CO_2 absorbit la întuneric, crește de la 3,2 la 17 mg. Cantitatea CO_2 absorbit de frunze la întuneric, depășind cantitatea CO_2 dizolvat în apa din frunze, autorii sînt de părere că adsorbția CO_2 se face cu ajutorul unei substanțe anumite din frunze.

În viața plantei, CO_2 adsorbit de frunză, are un rol însemnat prin ușurarea aprovizionării frunzelor cu CO_2 și prin ușurarea fenomenului fotosintezei, prin această combinare labilă a CO_2.

În atmosfera din sol, CO_2 e în cantitate cu mult mai mare de ex. de 10 ori mai mare decît în aer. În sol CO_2 provine de la respirația rădăcinilor plantelor superioare și a animalelor, dar mai ales de la respirația numeroaselor bacterii și ciuperci. Lundegärdh a arătat că solul nisipos sărac în substanțe organice, produce la 1 ha/oră 2 kg. CO_2. Solul argilos 4 kg./CO_2, iar un sol obișnuit produce în medie 5 kg. CO_2 la ha. pe oră.

Plantele de ovăz de pe un ha. folosesc în fotosinteză, 15 kg. CO_2 pe oră, dintre care a treia parte e furnizată de sol.

Din cauza producerii în cantitate mare a CO_2 de către sol în imediata vecinătate a suprafeței solului, aerul e mai bogat în CO_2. De asemenea în păduri aerul se îmbogățește peste noapte simțitor în CO_2, ajungînd la concentrații de 2 pînă la 3 ori mai mare, decît a aerului obișnuit.

Lundegärdh a arătat că într-o cultură de cartofi, la nivelul frunzelor inferioare, concentrația CO_2 din aer e mai mare cu 44%, la cele mijlocii cu 25% și la cele superioare cu 6%, față de concentrația CO_2 din aerul de deasupra culturii.

Într-o pădure, Lundegärdh a găsit în aerul de la nivelul de 1-2 cm. de la suprafața solului concentrația CO_2 de 0,08%, adică 0,8 cm^3 CO_2 la 1 l. aer, depășind de 2½ ori concentrația mijlocie a CO_2 din aer. Aerul din vecinătatea solului pădurilor tropicale umede, conține ziua pînă la 0,1% CO_2, iar noaptea pînă la 0,2—0,25%. Concentrația CO_2 din aerul unei păduri scade relativ repede cu înălțimea, cum a tabilit Lundegärdh în pădurile din Suedia fig. 54.

În aerul de deasupra munților înalți, concentrația de CO_2 e cu mult mai scăzută, ajungînd în regiunile alpine la 0,06 cm^2 CO_2 la litru. Fotosinteza poate avea loc în astfel de condiții, cum au arătat V. A. Blagovești enskii (1935) și O. V. Zalenskii, prin experiențe efectuate cu grîu și cu orez în Pamirul de E., la înălțimea de 6.200 m.

În regiunea stațiunii biologice Sinaia, dimineața de vreme concentrația CO_2 din aer e mărită, ajungînd pînă la 0,35‰, pentru ca în

scurt timp, din cauza fotosintezei, concentrația să scadă la valoarea normală.

Dintre cercetătorii mai vechi, Unger era de părere, că plantele superioare, pot absorbi cu rădăcinile CO_2 din sol, pe care-l folosesc apoi în frunze în fenomenul fotosintezei. H. v. Mohl a arătat că CO_2 luat din sol, nu e suficient la producerea amidonului de frunze. Calea de conducere din vîrful rădăcinii pînă la frunze e relativ lungă și apoi CO_2 poate fi absorbit și condus după părerea sa, numai în stare disolvată în seva brută, deci în cantitate mică. După D. Hertel (1939), plantele superioare pot absorbi o cantitate de CO_2 din sol, pînă la

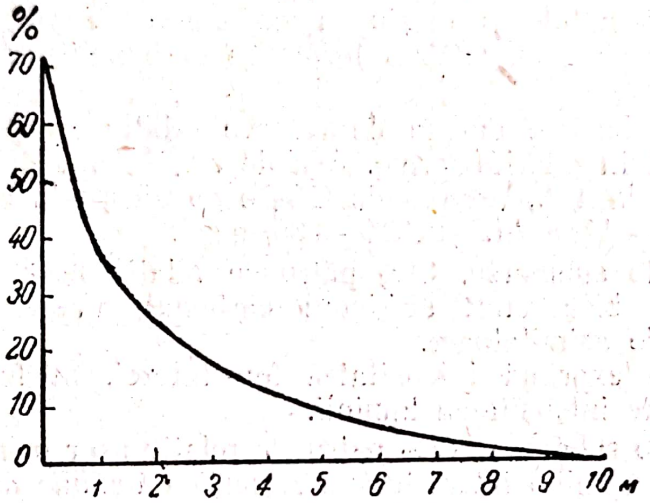


Fig. 54 Creșterea concentrației CO_2 în atmosfera din apropierea suprafeței solului. Pe abscisă—înălțimea de la suprafața solului în m. Pe ordonată—creșterea concentrației CO_2 in %, față de concentrația CO_2 în aerul liber.

de 3 ori intensitatea respirației. Overkott O. (1939) arată că CO_2 luat de plantă cu rădăcinile din sol, poate atinge 5-20% și chiar 50% din totalitatea CO_2, asimilat de plantă. El a arătat că o plantă ținută cu organele aeriene într-o atmosferă lipsită de CO_2, poate produce amidon în frunzele sale, cu ajutorul CO_2, absorbit cu rădăcinile din sol. Rezultatele asemănătoare a obținut și V. F. Kuprevici. Totuși Overkott O. a arătat că plantele nu se pot menține multă vreme în viață numai cu CO_2 luat cu rădăcinile din sol.

A. L. Kursanov, cu colaboratorii săi A. N. Kusinin, I. A. V. Mamul, N. N. Kriukova și B. B. Bartapetian, au arătat cu metoda atomilor marcați, că plantele se aprovizionează cu CO_2 din sol, pînă la proporția de 25% din cantitatea lor totală a CO_2 asimilat.

Din atmosferă, o parte din CO_2 trece în apă, în care se dizolvă ușor. Cantitatea CO_2 dizolvată în apă, depinde mai ales de temperatură, și de concentrația în săruri. La temperatura de 0°C apa conține de 2 ori mai mult CO_2, decît la 20°. La 15°C apa conține aproximativ aceeași cantitate de CO_2 cu aerul cu care vine în contact, adică 0,43‰. Cea mai mare parte a CO_2 se găsește în apă, dizolvat ca atare. O parte mai mică e combinată cu H_2O, sub formă de CO_3H_2, care e aproape

în întregime disociat în ionul bicarbonat, CO_3H' și în ionul hidrogen H^+ Disocierea mai departe a ionului bicarbonat, $CO_3H' \rightleftarrows CO_3'' + H$ e așa de redusă încît se poate neglija. Apele din natură conțin de obicei cantități mari de bicarbonați de Ca,Mg,Fe,K,Na, etc. Aceștia se disociază în cationul respectiv, și anionul bicarbonat CO_3HNa $CO_3H' + N_a^{\cdot}$

Plantele submerse asimilează în fotosinteză CO_2 din bicarbonați și mediul devine mai alcalin, bicarbonatul transformîndu-se în carbonat $2\ CO_3HNa \rightleftarrows CO_2 + H_2O + C0_3Na_2$. În natură, se observă o alcalinizare treptată a apei lacurilor în timpul zilei din cauza fotosintezei, și o ușoară acidifiere a ei în timpul nopții, din cauza difuzării CO_2 din aer în apă. Bicarbonatul de calciu și de magneziu sînt solubili în apă și în urma fotosintezei, se transformă în carbonații respectivi insolubili, care precipită.

Plantele submerse dispun de rezerve relativ mari de CO_2, care se găsește în apă în diferite forme. Așa de ex., în ape mai mari cu salinitatea de 35 g. la 1 l., rezerva de CO_2 e de 98 mg/l., din care CO_2 — 1 mg/l., HCO_3^- — 44 mg/l. și CO_3'' — 35 mg/l.

La plantele submerse, CO_2 pătrunde relativ ușor în celule, nefiind ionizat. Ionul bicarbonat și ionul carbonat, pătrund cu mult mai încet în celulele asimilatoare.

Figura 55 exprimă intensitatea fotosintezei, în funcție de concentrație CO_2 și de intensitatea luminii.

La plantele submerse, CO_2 pătrunde relativ ușor prin epiderma lipsită de cuticulă, în spațiile intercelulare. Această difuziune are loc după legea lui Exner, care arată că viteza de difuziune, e proporțională cu solubilitatea în apă a gazelor și e invers proporțională cu radicalul densității.

$$V = \frac{s}{\sqrt{d}}$$

Din cauza solubilității sale mari, CO_2 difuzează de 54,8 ori mai repede decît N_2, iar O_2 de 2,3 ori mai repede decît N_2.

În spațiile intercelulare ale plantelor submerse ținute la întuneric, gazele sînt cam în aceeași proporție ca în aerul atmosferic, deoarece respirația fiind un fenomen lent, nu modifică simțitor acest echilibru. În timpul asiimlației clorofiliene, plantele utilizează cantități mari de CO_2, care poate pătrunde în plantă din cauza vitezei sale mari de difuziune. O_2 rezultat în fotosinteză, avînd viteza de difuziune mai mică, rămîne în bună parte în spațiile intercelulare, unde mărește presiunea gazului, existent, care iese la nivelul unei răni sub formă de bule.

La frunzele plantelor aeriene scufundate în apă, K. I. Popov a constatat o acțiune relativ slabă a concentrației CO_2 asupra intensității fotosintezei din cauza difuzării mai încete a CO_2 în apă, ca în aer. F. Gassner a găsit la ferigele Thrichomanes ridicans și Hymenophyllum demissum, asimilația clorofiliană mai intensă în aer decît în apă.

Pe măsura creșterii concentrației CO_2, crește intensitatea fotosintezei, mai întîi după o linie apropiată de dreaptă și apoi după o

linie logartomică *fig. 55*. La concentrații mari, ale CO_2 în aer, de ex. de 5-10%, intensitatea fotosintezei rămîne constantă, iar la concentrații și mai mari, ea scade. Scăderea intensității fotosintezei la concentrații mari de CO_2, se datorește acțiunii toxice asupra protoplasmei a acestei substanțe. Limita inferioară a concentrației CO_2 din aer, la care mai are loc fotosinteza, e cuprinsă între 0,08 și 0,11‰ CO_2. Limita superioară a concentrației CO_2 la care mai are loc intensitatea fotosintezei, se stabilește mai greu. Unii autori arată că fotosinteza mai are loc într-o atmosferă ce conține între 10-20% CO_2.

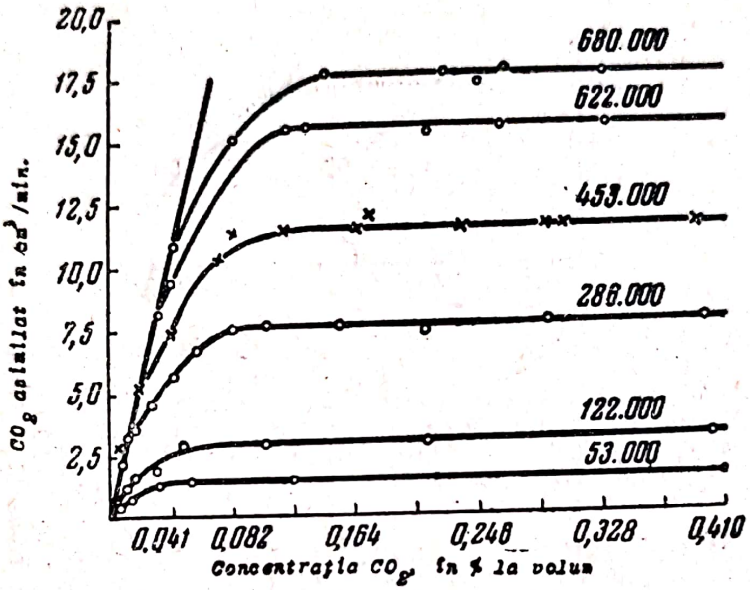


Fig. 55. Creșterea intensității fotosintezei, cu creșterea concentrației CO_2, la diferite intensități de lumină. Cifrele de pe curbe reprezintă intensitatea luminii în erg/cm²/sec. (După Huber 1933).

De obicei, o creștere a intensității fotosintezei, mai are loc la concentrația CO_2 în aer de 2-5%. Creșterea intensității fotosintezei la concentrații mai mari de CO_2, e în funcție și de intensitatea luminii.

B. A. Brilliant (1934), determinînd intensitatea fotosintezei, în condiții de concentrații mari a CO_2 din aer, între 10% și 100%, a constatat că are loc o scădere a intensității fotosintezei paralel cu creșterea concentrației CO_2 cum se vede în graficele din *fig. 56*. Din aceste grafice, ar rezulta că fotosinteza are loc chiar în atmosfera alcătuită numai din CO_2. Cum arată însuși autorul, în acest caz, CO_2 e absorbit nu atît prin fotosinteză, ci după modelul indicat de Willstätter și Stoll, prin adsorbție.

La intensități mai mari de lumină, fotosinteza crește mai mult *fig. 57* sub influența concentrației CO_2, decît la intensități mici de lumină.

La fiecare intensitate de lumină, există un punct de compensație pentru CO_2. De ex. Miller și Bar arată că la 20.000 lucși, plantele din ghivece se găsesc la punctul de compensație la 0,01% CO_2. La frunzele de soc aceiași autori arată că la 10.000 lucși punctul de

compensație e la 0,009% CO_2. Punctul de compensație al CO_2 este mult mai puțin cercetat decît acela pentru intensitatea luminii.

Ținînd seama de faptul că aerul conține numai 0,03% CO_2, și de faptul că fotosinteza crește în intensitate pînă la concentrația CO_2 de

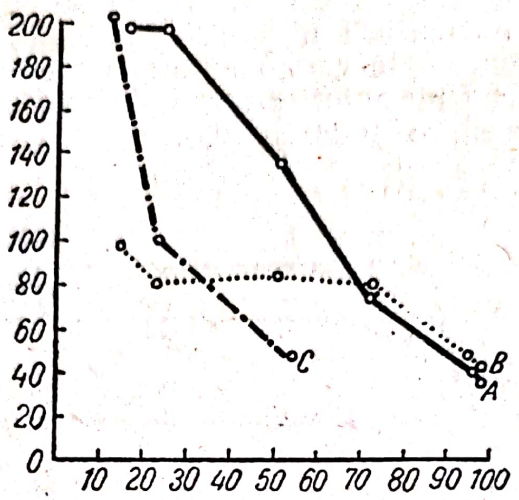


Fig. 56. Scăderea intensității fotosintezei la concentrații mari de CO_2 în atmosferă.
Pe abscisă—Concentrația CO_2 din aer în procente.
Pe ordonată—Intensitatea fotosintezei în mm^3 CO_2 asimilat, în 1/2 oră. A—la întensitatea luminii de 16.000 lux, B—la 4000 lux și, la 10000 lux (După Brilliant).

3-5%, numeroși cercetători au cercetat posibilitatea măririi recoltei prin îngrășarea aerului cu CO_2. Cercetări mai însemnate asupra acestei pro-

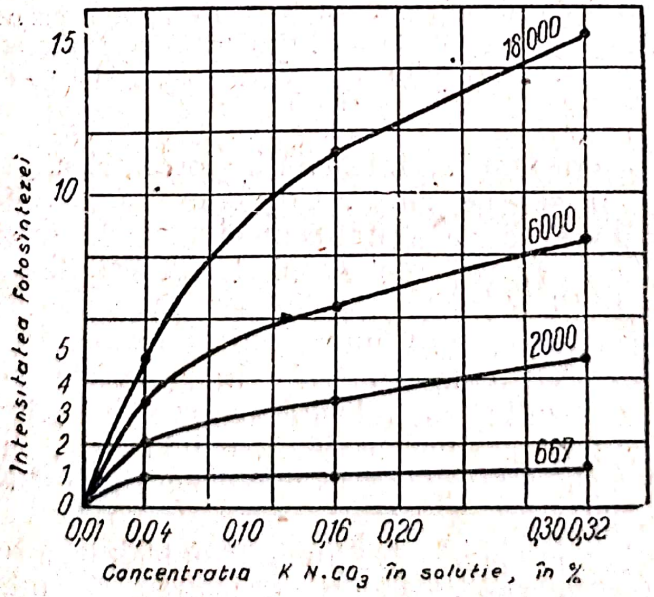


Fig. 57. Intensitatea fotosintezei în funcție de concentrația CO_2 și de intensitatea luminii. (După R. Harder)

bleme au făcut S. P. Kostîcev, N. M. Konstantinov, V. M. Kutunski și R. Harder.

S. P. Kostîcev și colaboratorii săi, au arătat că uneori, prin mărirea concentrației CO_2 în aer, se obține o scădere a intensității fotosintezei. V. M. Katunski, a lămurit această problemă, arătînd că în primele cinci zile de ținere a plantelor în atmosfera cu conținutul în CO_2 de patru ori mai ridicat (0,12%), față de atmosfera normală, are loc o scădere a intensității fotosintezei, mai ales în jumătatea a doua a zilei. Începînd cu a 15-a zi, intensitatea fotosintezei crește la ambele plante de experiență, și anume la mei cu 30% și la Perilla cu 50%, cum se vede în tabela 3. Plantele pot fi adaptate la asimilarea CO_2 dintr-o atmosferă cu concentrații mari de CO_2, de 20-40%. Astfel de experiențe, arată posibilitatea măririi recoltelor prin îngrășirea aerului cu CO_2. Rezultate pozitive s-au obținut mai ales în sere, unde în timpul zilei, concentrația CO_2 din aer scade prin fotosinteza plantelor foarte mult, uneori acest gaz putînd dispare cu totul.

Intensitatea fotosintezei plantelor, în $MgCO_2$ la 1 dm^2/oră, în diferite concentrații a CO_2 din aer

Tabela nr. 3

Planta	Nr. de zile de ținere a plantelor în aer cu CO_2 0,12%	Ore din zi						Media zilnică	
		10-11 h		12-13 h		17-18 h			
		exp.	control	exp.	control	exp.	control	exp.	control
Mei	2	14,2	11,2	6.5	9,9	10,9	10,2	10,5	10,4
	5	12,7	10,6	8,8	10,2	8,8	10,3	11,1	10,4
	15	15,5	12.0	16,3	12,0	15,6	12,1	15,8	12,1
Perilla	2	15,7	13,3	11,6	13,0	13,0	14,2	13,4	13,5
	5	14,9	11,7	10,1	11,4	12,4	12,3	22,4	11,9
	15	17,8	12,3	19,2	14,2	16.5	11,7	17,8	12,7

In sere CO_2 se administrează prin diferite metode:

Prin fermentarea gunoiului de grajd adus în seră în hîrdaie umectat cu apă și amestecat bine, se obține CO_2 prin respirația microorganismelor.

Prin evaporarea CO_2 solid (a gheții uscate) ținut sub plante. Pe zi se administrează 30-50 g. CO_2 solid la 1 m^2 suprafață utilă a serei.

Prin folosirea CO_2 provenit de la arderea combustibilului, după purificarea CO_2 de gazele toxice însoțitoare, CO,SO_2. As_2O_3, etc.

Prin arderea în aer a hidrocarburilor gazoase, după sistemul lui M. D. Ravici.

Prin mărirea concentrației CO_2 în aerul de seră, se obțin sporuri de recoltă la tomate și la castraveți, de 25-30% și uneori chiar de 100%.

Administrînd în sere CO_2 se obține o creștere mai intensă a plantelor, și un spor de recoltă. În această privință, e interesantă descoperirea lui V. M. Katunski, după care, după ținerea plantelor cîtva timp în atmosfera cu CO_2 de 5 ori mai mare 0,15% ca cea din aerul obișnuit are loc o intensitate sporită a fotosintezei și în aerul normal, cum se vede în tabela 4. Acest fapt se explică prin creșterea mai intensă a plantelor în condițiile aerului cu conținut ridicat de CO_2, ceea ce are ca

urmare o ușurință a conducerii substanțelor organice, asimilite de frunze și în condițiile aerului obișnuit. Ca dovadă că lucrurile se petrec așa, V. M. Katunski aduce faptul micșorării intensității fotosintezei frunzelor, la plantele la care s-au îndepărtat organele de reproducere, în care în mod normal se depun substanțe organice în cantitate mare. Prin îndepărtarea spicului, la secară, intensitatea fotosintezei frunzelor a scăzut cu 39,5% la grîu cu 53,5% și la mei cu 52,3%.

Acțiunea ținerii preliminare a plantelor în atmosferă cu 0,03%CO_2. Fotosinteza e exprimată în Mg.CO_2 la dm²/oră

Tabela nr.

PLANTA	Intensitatea fotosintezei	
	La planta de control	La planta de experiență
Kok-sagîz	15,6	19,2
Mazăre de toamnă	8,9	11,20
Sfecla de masă	7,3	11,7

În răsadnițe, gunoiul de grajd din patul cald grăbește creșterea răsadului atît prin ridicarea temperaturii, cît și prin mărirea concentrației CO_2 din aer.

În condițiile din cîmp, s-au făcut experiențe în vederea îngrășării aerului cu CO_2, trecînd prin conducte printre plante, gazele eliminate de coșurile fabricilor provenite din arderea cărbunilor de pămînt.

Astfel de experiențe nu au dat rezultate pozitive, pe de o parte din cauza vitezei mari de difuziune a CO_2 în atmosferă, iar pe de altă parte, din cauza produselor toxice gazoase, de ex. SO_2, As_2O_3, care se formează la arderea cărbunilor de pămînt din impuritățile de sulf, arsen, etc.

Experiențe pozitive a obținut N. M. Konstantinov, care a administrat CO_2 la sfecla de zahăr în condiții de cîmp, odată cu apa de irigație, pe care a saturat-o cu CO_2. În astfel de condiții, a obținut o creștere zilnică a greutății plantelor, precum și o creștere a recoltei, sporul datorindu-se atît creșterii masei de rădăcini, cît și creșterea procentului de zahăr, cum se vede în tabela 5.

Acțiunea apei de irigare saturată cu CO_2, asupra creșterii și asupra recoltei sfeclei de zahăr

Tabela nr. 5

	Control	Irigare cu apă	Irigarea cu apă cu CO_2
Creșterea zilnică în g a (rădăcinilor) unei plante	2,4	3,0	3,9
Creșterea zilnică în g a frunzelor unei plante	2,0	2,4	2,7
Recolta rădăcinilor în t/ha	262,5	301,2	369,7
Conținutul zahărului în %	15,56	15,92	16,95
Cantitatea de zahăr t/ha	40,06	46,1	64,3

FOTOSINTEZA ŞI CONDIŢIILE DE ILUMINARE

În natură, intensitatea luminii se schimbă în limite foarte largi. La mijlocul zilelor de vară, ea ajunge pînă la 100.000 lucşi. În timpul nopţii, intensitatea luminii scade la 0, sau la cîteva zecimi de lucs, în cazul nopţilor cu lună plină.

Intensitatea luminii e micşorată de grosimea stratului de aer străbătut, cum se vede în *fig. 58*. Figura arată că atmosfera străbătută exercită o influenţă mai mare asupra scăderii intensităţii razelor cu lungimea de undă mică decît a celor cu lungimea de undă mai mare.

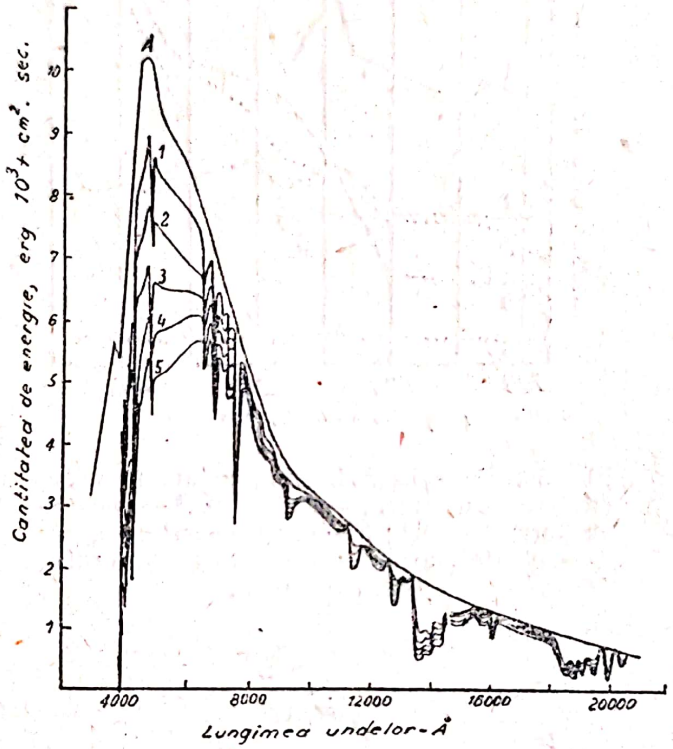


Fig. 58. Energia radiaţiilor solare directe cu diferite lungimi de undă în funcţie de grosimea stratului de atmosferă străbătută. AP energia radiaţiilor la nivelul atmosferei globului pămîntesc. 1—5 curbele energiei în urma străbaterii diferitelor mase de aer.

Intensitatea luminii e influenţată de norii din atmosferă care reţin mai puternic razele de lumină cu lungimea de undă mai mică, aşa cum se vede în *fig. 59*.

Primele cercetări privind influenţa luminii asupra intensităţii fotosintezei, le-a făcut Volkov în 1866, servindu-se de metoda bulelor emise de către plantele submerse situate la distanţe diferite faţă de un geam luminat de soare. El a găsit că intensitatea fotosintezei, creşte direct proporţional cu intensitatea luminii. În 1883, Reinke J. folosindu-se de intensităţi mai mari de lumină mergînd pînă la lumina solară directă, a constatat că creşterea intensităţii fotosintezei la lumină din ce în ce mai intensă, are loc din ce în ce mai slab, obţinînd curbe logaritmice care devin în cele din urmă paralele cu orizontala.

Scanned with OKEN Scanner

Ewart U. J. (1896-1898) a arătat că la intensități foarte mari de lumină, intensitatea fotosintezei scade din nou.

Pantanelli E. (1903) a ajuns la concluzia că acțiunea luminii asupra intensității fotosintezei, are loc pe baza teoriei punctelor cardinale, avînd

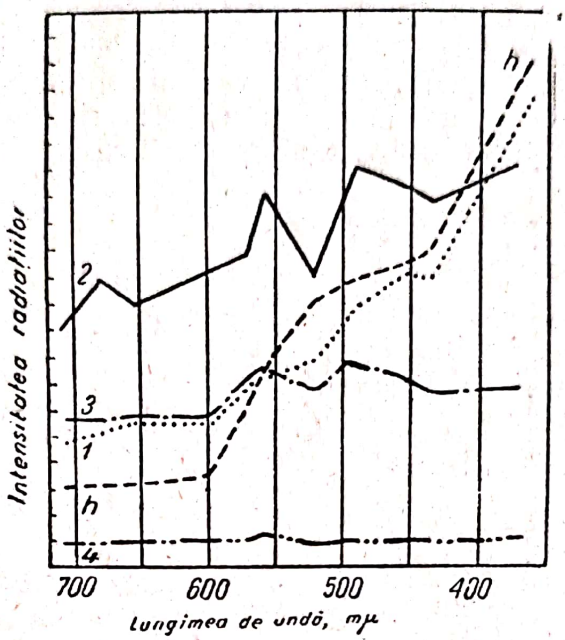


Fig. 59. Energia radiațiilor solare în urma străbaterii norilor. h—cer senin. 1—cer slab acoperit cu nori; 2—cer acoperit cu nori; 3 — ploaie măruntă; 4 — ploaie puternică (după Seybold).

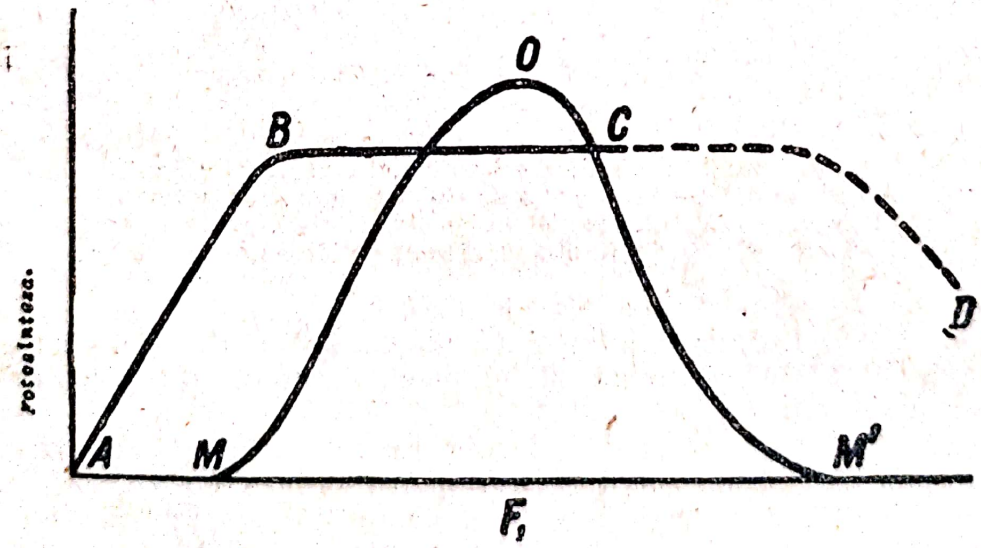


Fig. 60. Fotosinteza rsprezentată pe baza teoriei punctelor cardinale MOM' și a teoriei factorilor limitanți ABCD (după Rabinovici).

loc, un optim, O, al intensității de lumină, la care intensitatea fotosintezei decurge în condiții optime și un maxim M' al intensității luminii, la care fotosinteza încetează, *fig. 60.*

Blackman F. F. Matthaei G. L. G. (1905) și Blackman F. F. și Smith A. M. (1911) sînt de părere că intensitatea fotosintezei la diferite intensități de lumină, are loc nu după teoria punctelor cardinale, ci după teoria lor proprie a factorilor limitați. Ei contestă existența unui punct cardinal minim, susținînd că fotosinteza are loc pînă la cele mai slabe intensități de lumină. Ei contestă și punctul cardinal optim fiind de părere că la o anumită intensitate de lumină, curba fotosintezei se frînge, mergînd de aici încolo paralel cu absciza, conform curbei A B C, *fig. 60*. Blackman era de părere că începînd cu o anumită intensitate de lumină, au loc procese distructive datorită unei supraîncălziri a celulelor.

Teoria factorilor limitanți este mecanicistă. In genere un fenomen fiziologic e condiționat de numeroși factori interni și externi și nu de unul singur.

Chiar cînd studiem numai acțiunea a 2 factori, de ex. concentrația CO_2 și intensitatea luminii, constatăm că chiar la concentrații mici de CO_2 prin mărirea intensității lumnii, se obține o creștere a intensității fotosintezei după curba (1) și fenomenul nu merge după curba (2) dată de Blackman.

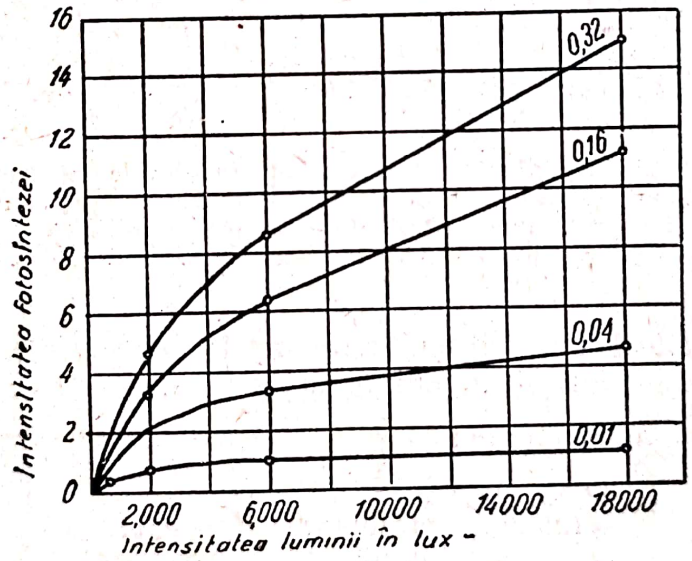


Fig. 61. Intensitatea fotosintezei mușchiului Fontinalis în funcție de intensitatea luminii în condiții de concentrații diferite de CO_2. Cifrele de pe curbe indică în procente conținutul $KHCO_3$ în soluție (după R. Harder).

Teoria lui Blackman asupra factorilor limitanți e contrazisă de fapte experimentale. R. Harder (1921) a arătat că fotosinteza decurge la mușchiul submers Fontinalis, nu după curba frîntă a lui Blackman, ci după curbe mai line. In condiții de concentrație mică a CO_2, (0,01% $KHCO_3$) *fig. 61* curba ajunge relativ repede paralelă cu orizontala. In concentrațiile mai mari ale CO_2, 0,04%, 0,16% și 0,32% $KHCO_3$, curbele nu se apropie de orizontală, în condițiile iluminării din experiență, pînă la 18.000 lux.

K. A. Timiriazev a exprimat printr-o curbă logaritmică creșterea intensității fotosintezei, sub influența intensității luminii, *fig. 62.* Încetinirea creșterii intensității fotosintezei, are loc la o intensitate a luminii egală cu aproximativ 1/5 din lumina solară directă. La această lumină relativ slabă, e greu de presupus că ar avea loc anumite fenomene distructive ale aparatului clorofilian.

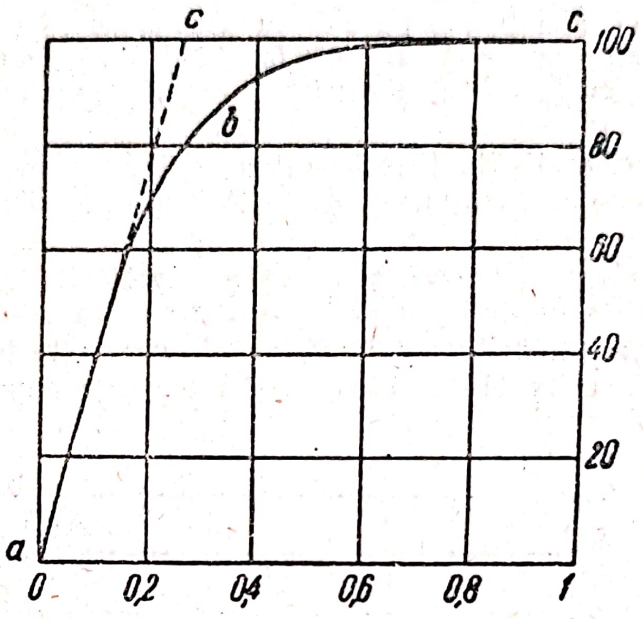


Fig. 62. Intensitatea fotosintezei, în funcție de intensitatea luminii. Pe abscisă—intensitatea luminii în comparație cu lumina solară directă. Pe ordonată—intensitatea luminii în procente față de valoarea maximă (după K. A. Timiriazev).

Reacțiile fotochimice obișnuite decurg în genere direct proporțional cu intensitatea luminii și cu durata acțiunii ei.

La ele e valabilă relația:

$I/t = K$, în care
I = intensitatea luminii
t = durata acțiunii ei
k = constantă

Pe baza acestei relații se poate determina intensitatea luminii după cantitatea substanței transformată într-un timp determinat.

În cazul fotosintezei, această relație are o aplicație restrînsă la intensitatea slabă de lumină.

In literatura științifică există numeroase grafice ale mersului fotosintezei, în funcție de intensitatea luminii la concentrații diferite de bioxid de carbon și la temperaturi diferite.

Din toate aceste curbe, rezultă că la intensități slabe de lumină *fig. 62,* trecerea de la forma liniară a intensității fotosintezei la forma parabolică, are loc la intensitatea luminii cuprinsă între $5\text{-}10.10^3$ erg./cm^2 sec, ceea ce corespunde la $1\text{-}2.10^3$ lucși a luminii albe. In experiențele

cu concentrații mari a CO_2, curbura liniei are loc la 200 lux. De obiceiu, curbura continuă pînă la 10-20.10^3 lux.

Mărind intensitatea luminii, fotosinteza crește treptat în intensitate, mai întîi aproape direct proporțional cu intensitatea luminii, și apoi din ce în ce mai puțin, astfel încît prin reprezentarea grafică, obținem o curbă logaritmică, *fig. 62*. La intensitatea luminii de 50.000 lux, frunzele plantelor din lumina puternică, asimilează cu maximum de intensitate. Peste 50.000 lux, fotosinteza se menține constantă pînă la 100.000 lux, așa cum a arătat K. A. Timiriazev.

Mersul paralel cu abscisa al intensității fotosintezei începe la acea intensitate de lumină la care toate cloroplastele sînt suficient iluminate. Concentrația micșorată de CO_2 deplasează începutul porțiunei orizontale a curbei, spre intensități mai slabe de lumină. La fel se comportă și cantitatea scăzută a catalizatorilor. O importanță mare are adaptarea prealabilă a plantelor la lumină slabă sau puternică. Așa cum rezultă din lucrările lui P. Boysen-Jensen și Gabrielsen, la plantele de umbră, porțiunea orizontală a curbei, poate începe chiar la 1000 lux. La fel se comportă și Marhantia *fig. 64*, în timp ce la lichenul Peltigera, porțiunea orizontală a curbei începe aproximativ la 20.000 lux. De asemenea la frunzele de fag de la umbră, porțiunea orizontală începe la 3000 lux, în timp ce la cele de la lumină puternică la peste 30.000 lux.

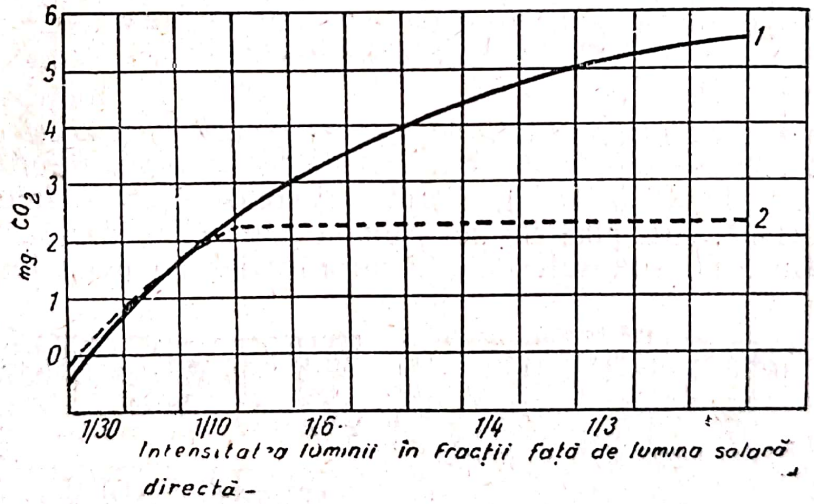


Fig. 63. Intensitatea fotosintezei în mg. CO_2 la 1 g. greutatea proaspătă pe oră, în funcție de intensitatea luminii. 1—plantă heliofilă (Nasturtium). 2—plantă de umbră (Oxalis) (după N. A. Maximov).

Algele, mai ales cele roșii care trăiesc la adîncime mai mare, se comportă ca plante ombrofile.

La frunzele plantelor ombrofile, relația directă între intensitatea fotosintezei și intensitatea luminii, are loc pînă la o intensitate a radiațiilor active pînă la 1000 cal. dm²/oră, iar la frunzele plantelor heliofile, pînă la 1500-3000 cal. dm²/oră.

La frunzele plantelor ombrofile, saturația cu lumină, adică încetarea creșterii intensității fotosintezei la creșterea intensității de lumină, are loc la 2000 cal. pe dm²/oră, iar la frunzele plantelor heliofile, la intensi-

tatea razelor de lumină, între 3000-4000 cal. pe dm²/oră, ceea ce corespunde la $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$ și uneori pînă la $\frac{1}{2}$ din intensitatea radiațiilor solare directe.

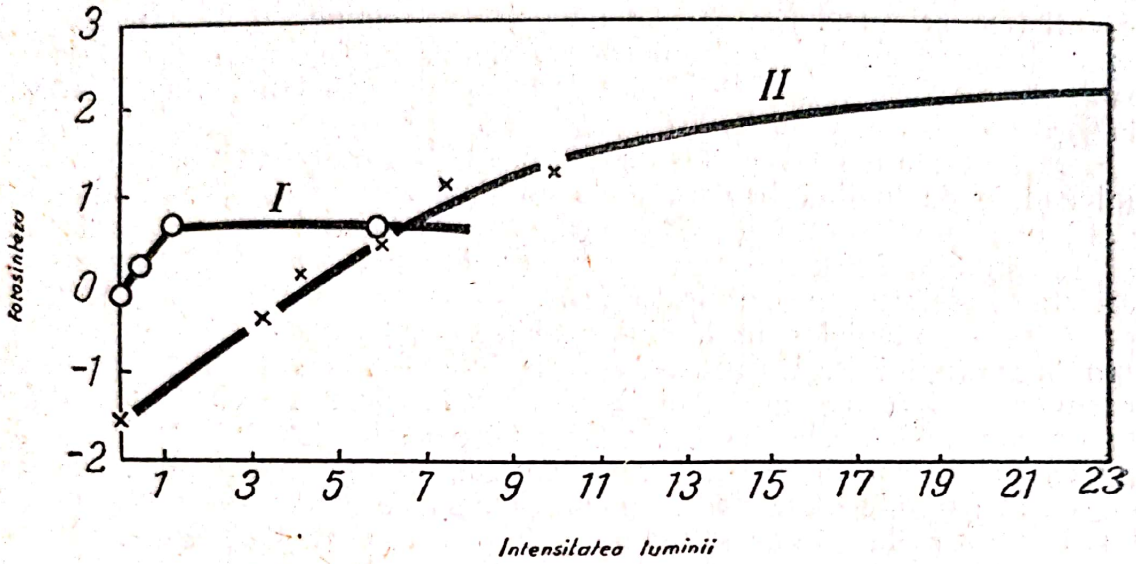


Fig. 64. Intensitatea fotosintezei în funcție de intensitatea luminii, la planta de umbră Marchantia și de lumină intensă Peltigera.

În umbra pădurilor dese, de ex. a pădurilor tropicale, lumina e slabă încît abia se mai poate citi scrisul cu creionul. Plantele crescute aici, pot asimila CO_2. În interiorul camerelor din locuințe lumina e de obiceiu slabă. Aici plantele pot asimila puțin CO_2, dar substanțele organice produse nu sînt suficiente să acopere nevoia plantelor și acestea

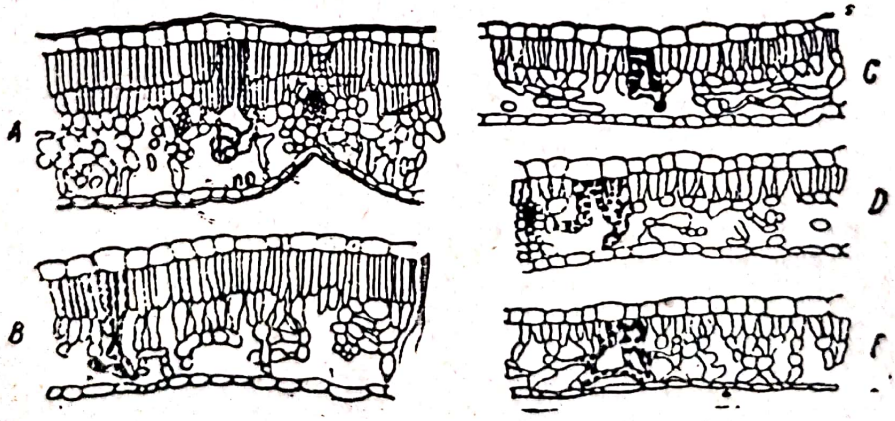


Fig. 65. Frunze de alun A și B din soare. CDE din umbra (desenele au fost făcute la aceeaș putere de mărire a microscopului) (după N. A Maximov, 1948).

sînt deobicei înfometate. Aici se pot cultiva numai astfel de plante care au intensitatea respirației foarte scăzută, ca de ex. Aspidistra, Clivia, etc.

Frunzele helofile (de lumină intensă) și sciatofile (de lumină slabă) diferă între ele prin caractere morfologice și fiziologice. Astfel, frunzele din lumina intensă sînt mai groase, cu celulele palisadice mai lungi, și uneori dispuse pe mai multe straturi cum se vede în *fig. 65.* Ele au cuticula mai groasă, stomate mai numeroase, nervuri mai dese, și cloroplaste mai mici, cum se vede *în fig. 66.* Așa cum a arătat V. N. Liu-

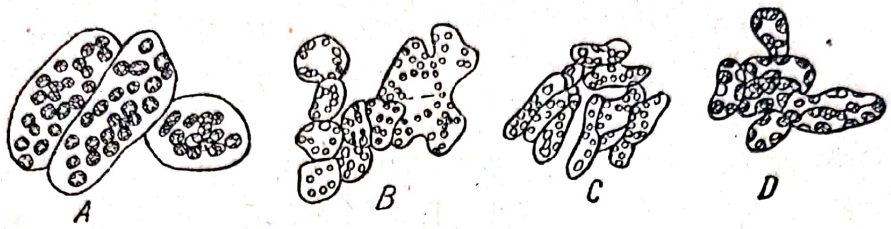


Fig. 66. Mărimea cloroplastelor la plante heliofile și sciatofile.
A—tisă (sciatofilă) B—lariță (heliofilă) C—salcîm (heliofilă)
D—fag (sciatofilă) (după N. A. Maximov 1948).

bimenko, frunzele plantelor din umbră, conțin o cantitate mai mare de pigmenți clorofilieni, ca cele din lumina puternică, așa cum se vede în tabelă. În medie, acele coniferelor din umbră conțin 2,04 g. clorofilă la kg. în timp ce cele din lumină intensă, conțin numai 1,08 g. Frunzele foioase ale copacilor din lumina slabă, conțin 5,43 g. clorofilă la kg. în timp ce cele din lumina intensă, conțin numai 1,38 gr. Și componența

Cantitatea de clorofilă în frunzele diferitelor plante (g/kg subst. proaspătă)

Tabela nr. 6

Frunze de umbră		Frunze de lumină puternică	
Taxus baccata	2,44	Larix europea	1,15
Picea Engelmanii	1,92	Pinus silvestris	1,13
Abies sibirica	1,75	Araucaria	0,97
Theobroma cacao	7,90	Sedum	1,06
Thilia parvifolia	4,40	Cocos nucifera	1,14
Aspidistra elatior	4,00	Elymus arrenarius	1,95

diferiților pigmenți verzi și galbeni diferă la frunzele heliofile și sciatofile, așa cum se vede în tabela 7. Frunzele heliofile, au raportul între clorofila a și b, mai ridicat decît frunzele ombrofile. De asemenea, la ele e mai ridicat și raportul carotină-xantofilă. Raportul între pigmenții verzi și pigmenții galbeni, e mai ridicat la frunze embrofile decît la cele heliofile.

Ca urmare a acestui fapt, frunzele plantelor din umbră conțin o cantitate relativ mai mare de clorofilă b, care absoarbe mai bine razele luminii cu lungimea de undă mică, predominante la umbră.

Cantitatea diferiților pigmenți în frunzele de lumină și de umbră

Tabel nr. 7

Specia	Pigmenții clorofilieni			Pigmenții caroținoizi			$\frac{a+b}{c+x}$
	a	b	$\frac{a}{b}$	C	X	$\frac{C}{X}$	
Boz							
Frunze din soare	0,58	0,22	2,6	0,052	0,095	0,55	5,4
Frunze de la umbră	0,79	0,39	2,0	0,038	0,118	0,32	7,5
Platan							
Frunze din soare	0,15	0,15	3,5	0,043	0,092	0,47	4,6
Frunze de la umbră	0,85	0,85	3,2	0,051	0,125	0,40	6,4

În condițiile unei iluminări insuficiente, frunzele plantelor ombrofile, de ex. Pinus silvestris și Picia excelsa, formează o cantitate relativ mai mare de clorofilă, decît frunzele plantelor heliofile, de ex. Larix sibirica, așa cum se vede în tabela 8.

Cantitatea de clorofilă în frunze în legătură cu condițiile de iluminare (g/kg subst. proaspătă)

Tabela nr. 8

Planta	Cantitatea de clorofilă	
	La lumină	La lumină excesiv de slabă
Larix sibirica	1,77	0,06
Pinus silvestris	2,24	0,47
Picea excelsa	3,89	1,28

R. Willstätter și A. Stoll, au arătat că la frunzele aurii, intensitatea fotosintezei crește pînă la intensitatea maximă a luminii solare directe, în timp ce la varietățile cu frunze verzi ale aceleeași specii, fotosinteza crește în intensitate, numai pînă la jumătate din intensitate a luminii solare directe, cum se vede *în fig. 67.*

Din cele de mai sus rezultă că pigmenții frunzei, absorb lumina într-un mod mai avantajos pentru îndeplinirea procesului fotosintezei decît ar face un pigment, care ar reține energia tuturor razelor ce cad asupra lui, așa cum a arătat Timiriazev. În fig. 68 e trecută

fotosinteza algei Chlorella, la diferite intensități de lumină în decurs de 70′. La intensitatea mică de lumină, de 10753 lux, nu are loc nici o scădere a intensității fotosintezei, cu timpul. Începînd cu intensitatea de lumină de 65.000 lux. se observă o scădere a intensității fotosintezei în decursul timpului de experiență, iar la 104.304 lux și la 138.714 lux, scăderea intensității fotosintezei cu timpul, e și mai

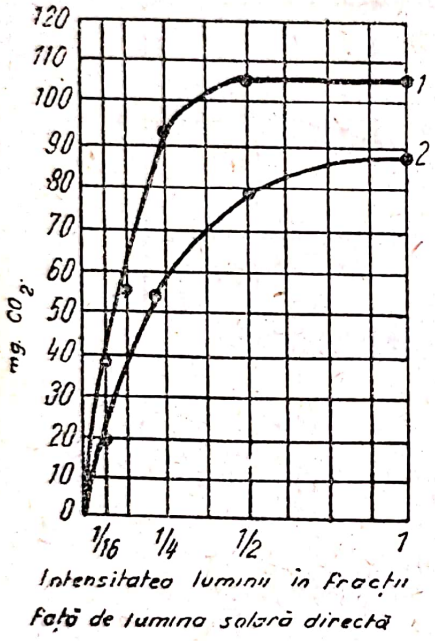


Fig. 67. Intensitatea fotosintezei frunzelor verzi (1) și aurii (2) la diferite intensități de lumină (după R. Willstätter și A. Stoll 1918).

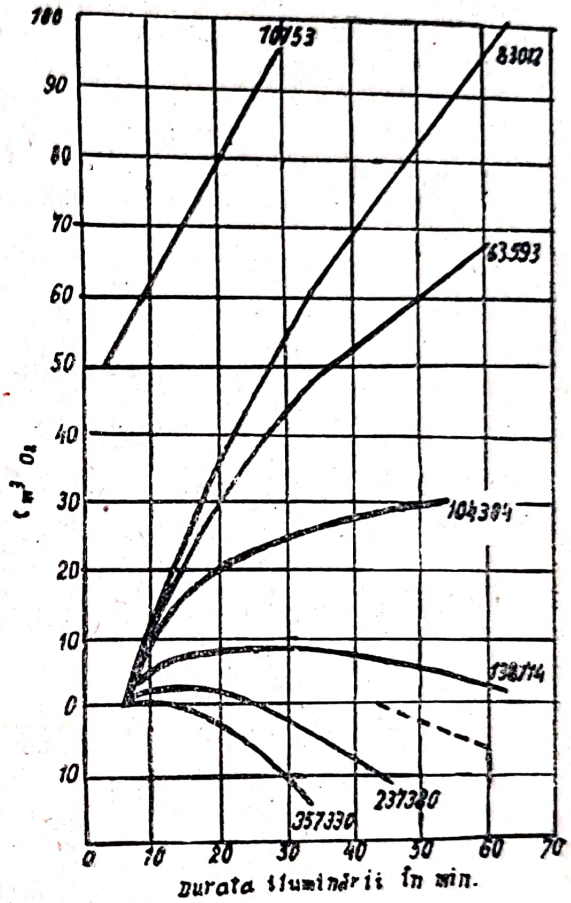


Fig. 68. Intensitatea fotosintezei la Chllorella la diferite intensități de lumină. Cifrele de pe curbe indică intensitatea luminii în lux.

accentuată. Peste 237.360 lux, fotosinteza are loc numai timp de 25′, după care ea încetează, și apoi trece la valori negative, alga punînd în libertate mai mult CO_2 decît la întuneric. Acest fapt se explică prin acțiunea de distrugere exercitată de lumina intensă asupra celulelor.

Reinke (1883) a mărit intensitatea luminii peste aceea a luminii solare directe, concentrînd razele solare cu ajutorul unei lentile, obținînd un fascicol de raze care depășește de mai multe ori intensitatea luminii solare directă. Experimentînd cu ramuri de Elodea, el a arătat că o lumină între 1/2 și 16/1 ori mai intensă decît aceea directă a soarelui, nu modifică intensitatea fotosintezei. La intensități de lumină mai mari, are loc o micșorare a intensității fotosintezei. Într-o lumină de 800 ori mai intensă decît aceea directă solară, fotosinteza se oprește complect

în decurs de 2 minute, totodată avînd loc și o decolorare ireversibilă a frunzelor. Cu siguranță că lumina de o imensitate excesivă provoacă distrugerea pigmenților clorofilieni, ceea ce are ca urmare mai întîi o încetinire a fotosintezei, și apoi o oprire completă și ireversibilă a ei.

La unele plante adaptate la lumină mai slabă, de ex. la unele alge, are loc o micșorare a intensității fotosintezei, în lumina solară directă, deși în acest caz decolorarea nu se poate constata. Probabil că există părți ale aparatului clorofilian, mai sensibile la lumina intensă decît pigmenții clorofilieni.

Fig. 69 reprezintă fotosinteza aparentă și reală, precum și punctul de compensație și intensitatea respirației. La frunzele adaptate la lumină intensă punctul de compensație e situat la intensități de lumină mai mari, decît la frunzele din umbră.

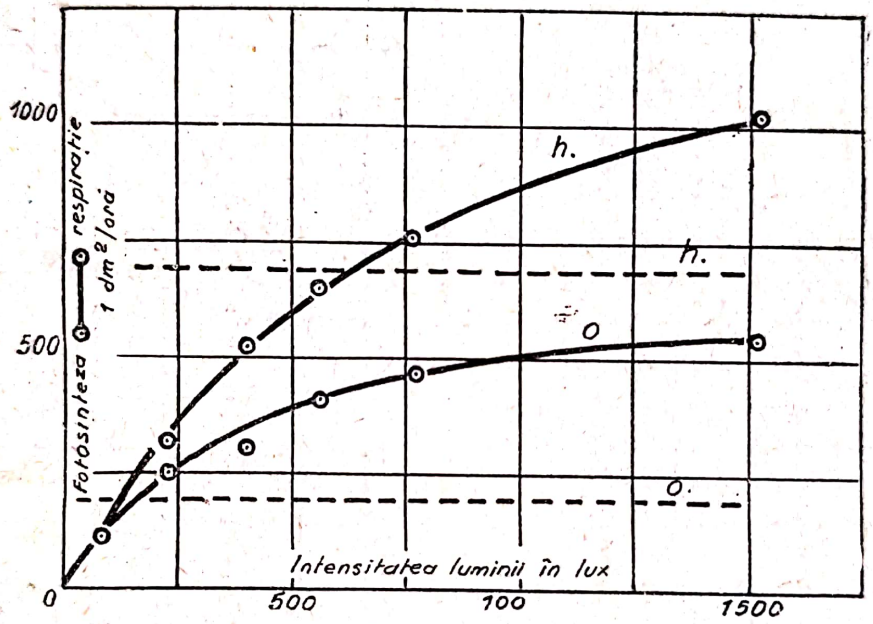


Fig. 69. Punctul de compensație a frunzelor heliofile h și sciatofile O (după N. Sălăgeanu).

Adaptarea la lumină a plantelor poate avea loc atît la planta întreagă, cît și la ramuri, sau chiar la frunze separate. In genere frunzele de pe partea inferioară a coroanei copacilor se adaptează la lumină slabă, iar frunzele de pe vîrful coroanei, la lumină intensă. Acest fapt reiese din determinările lui L. A. Ivanov și N. L. Kosovici (1930), trecute în tabela 73, în care se vede că în lumina slabă asimilează mai intens frunzele aciculare din umbră, iar la lumina solară directă, asimilează mai intens frunzele aciculare de lumină intensă.

Cunoașterea limitei luminii slabe suportate de plante prezintă însemnătate în fenomenul de rărire naturală și artificială a pădurii, precum și la stabilirea desimii semănăturilor.

Scăzînd intensitatea luminii, fotosinteza aparentă ajunge la valoarea egală cu O, la așa numitul punct de compensație. În acest caz, fotosinteza are ceeași valoare cu respirația, adică frunzele produc în fotosinteză o cantitate de O_2 egală cu aceea consumată în respirație,

și absorb în fenomenul fotosintezei o cantitate de CO_2 egală cu aceea produsă în respirație. În mod aparent, se pare că frunzele la punctul de compensație nu absorb și nu produc nici un gaz. Cunoașterea punctului de compensație prezintă o însemnătate întrucît el caracterizează natura diferitelor frunze. Pentru determinarea lui, N. Sălăgeanu a măsurat alternativ intensitatea respirației și intensitatea fotosintezei, la intensități de lumină din ce în ce mai scăzute, *fig. 69*. Prelungind valorile intensi-

Intensitatea fotosintezei la pinus silvestris, în mg CO_2 h la 1g subst. proaspătă

Tabela nr. 9

Ilumlnarea	Ace de umbră	Ace de lumină intensă
Cer senin	0,49	0,21
Cer înorat	1,84	1,18
Lumina solară directă	1,42	1,74

tății fotosintezei la diferitele intensități de lumină, obținem curba logaritmică din *fig. 69* care se întretaie la punctul de compensație cu linia ce reprezintă intensitatea respirației.

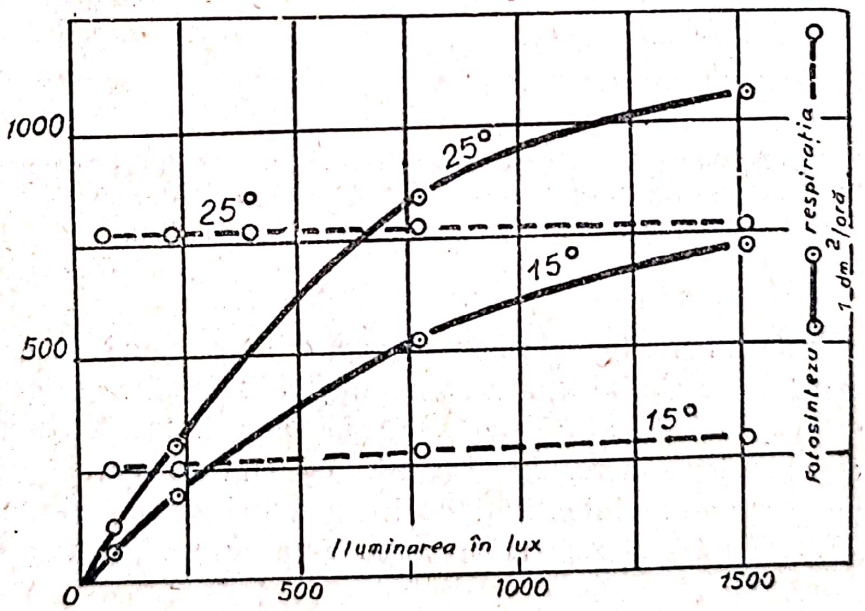


Fig. 70. Punctul de compensație la frunzele de Vinca minor la temperatura de 15° și 25° (după N. Sălăgeanu).

Punctul de compensație, a fost găsit la frunzele din lumină intensă, la valori cuprinse între 600-1000 lux, iar la frunzele din lumina slabă, la 80-200 lux, cum se vede în *fig. 69* alăturată. Acest fapt se explică mai ales prin intensitatea mai mare a respirației frunzelor heliofile.

La temperatură mai scăzută, punctul de compensație se deplasează spre intensități mai slabe de lumină, cum se vede în graficele din fig. 70.

Faptul acesta se explică printr-aceea că la temperaturi joase, intensitatea respirației scade mai mult decît intensitatea fotosintezei. Graficele din *fig. 71* arată o scădere a punctului de compensație paralel cu creșterea concentrației CO_2 din aer, ceea ce se explică prin mărirea intensității fotosintezei, sub acțiunea concentrației sporite de CO_2.

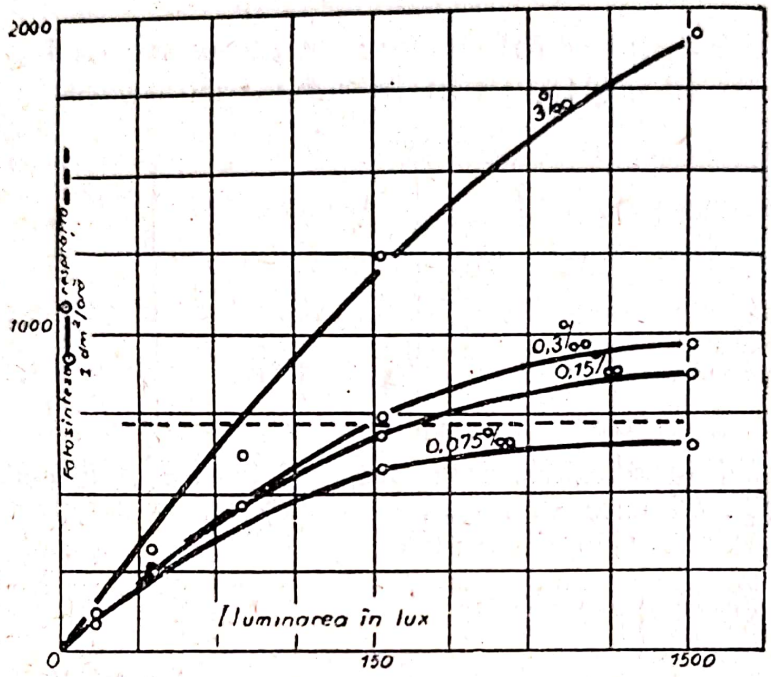


Fig. 71. Punctul de compensație al frunzelor de Vinca minor la concentrații diferite de CO_2. Cifrele de pe curbe arată concentrațiile de CO_2 în ‰ (după N. Sălăgeanu).

La frunzele tinere, punctul de compensație e situat la valori mai ridicate decît la cele adulte, cum se vede în *fig. 72*, ceea ce se explică prin intensitatea respirației mai ridicată și prin intensitatea fotosintezei mai scăzută, a frunzelor tinere. La frunzele de culoare aurie, punctul de compensație e situat la intensități de lumină mai mari decît la frunzele verzi, din cauza fotosintezei mai scăzute și a respirației mai intense a acestor frunze.

Narcoticii acționează mai puternic asupra fotosintezei decît asupra respirației, deplasînd punctul de compensație spre intensități mai mari de lumină. Unele otrăvuri ca de ex. cianurile, pot avea la lumină slabă o acțiune mică asupra intensității fotosintezei, în timp ce ele reduc simțitor intensitatea respirației. Aceste substanțe toxice, deplasează punctul de compensații spre intensități mai mici de lumină.

Adîncimea apei la care algele sînt la punctul de compensație, se determină prin scufundarea unei alge în vase închise de sticlă, la adîn-

cimi diferite, după care se analizează O_2 dizolvat în apa vasului de sticlă. O creştere a concentraţiei O_2 arată că plantele se găsesc deasupra punctului de compensaţie, iar scăderea concentraţiei O_2, indică predominarea fenomenului respiraţiei asupra fotosintezei, deci alga se găsea

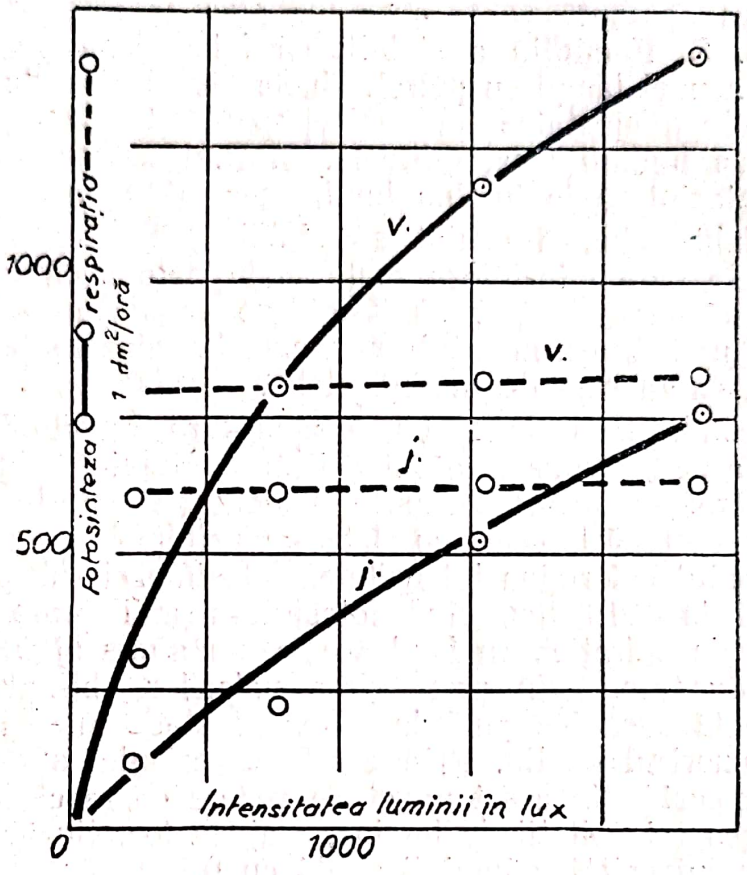


Fig. 72. Punctul de compensaţie al frunzelor gălbui j şi verzi v de Acer negundo (după N. Sălăgeanu).

la intensitate de lumină sub punctul de compensaţie. În tabela 10 se vede că în Oceanul Atlantic, în dreptul ţărmului statului Men, algele se găsesc la punctul de compensaţie la adîncimea de 24-30 m.

Adîncimea apei cu punctul de compensaţie în Oceanul Atlantic

Tabel nr. 10.

Adîncimea m	O_2 la sfîrşitul experienţei mg/l	Variaţia conţinutului O_2 în experienţă mg/l	Variaţia conţinutului O_2 ţinînd seamă de respiraţie mg/l	Temperatura la adincimea respectivă
0	9,42	+ 1,60	+ 2,31	10,75
8—10	4,40	+ 0,58	+ 1,08	10,6
16—20	8,07	+ 0,85	+ 0,65	10
24—30	7,81	— 0,01	+ 0,20	6—9
32—40	7,66	— 0,16	+ 0,12	5—6
40—50	7,59	— 0,22	+ 0,01	4—5

Scanned with OKEN Scanner

Ehrke (1931), a obținut următoarele valori pentru punctul de compensație al algelor: Enteromorpha compressa (alga verde) 460 lux, Fucus serratus (algă brună) 408 lux, Plocamium coccineum (algă roșie) 460 lux, Delesseria sanguinea (algă roșie) 270 lux.

Fotosinteza aparentă poate avea loc pînă la intensități relativ mici de lumină. A. S. Famîntin a stabilit că fotosinteza poate avea loc la lumina slabă a unei lămpi cu petrol. Unele alge trăiesc la adîncime mare în oceane, unde intensitatea luminii reprezintă 1×10^{-5} pînă la 1×10^{-7} din intensitatea luminii solare directă. S. P. Kostîcev nu a putut pune în evidență fotosinteza la lumina lunii, această lumină fiind prea slabă.

V. N. Liubimenko, a căutat să stabilească intensitatea minimă a luminii, pînă la care fotosinteza reală mai poate avea loc. El, a ajuns la concluzia că plantele pot să asimileze numai pînă la o anumită intensitate de lumină, așa numitul prag, care la frunzele de lumină intensă e mai ridicat, ca la cele de lumină slabă.

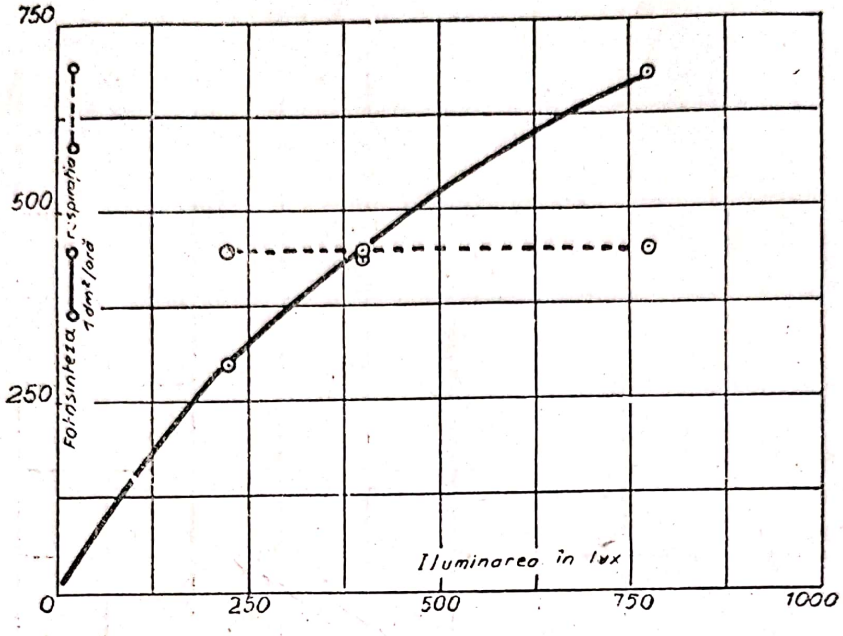
N. Sălăgeanu determinînd cu o aparatură sensibilă fotosinteza și respirația la aceeași frunză, la intensități de lumină din ce în ce mai scăzute, a arătat că atît la frunzele heliofile, cît și la cele ombrofile, fotosinteza merge pînă la cele mai slabe intensități de lumină, *fig. 73 și 74* a și b. El a putut determina intensitatea fotosintezei sub punctul de compensație, pînă la 8-10 lux, cînd fotosinteza mai reprezintă abea 2% din intensitatea respirației. În felul acesta s-a ajuns pînă la limita erorii metodei de cercetare. Prin prelungirea valorilor obținute, se arată că fotosinteza poate avea loc pînă la cele mai slabe intensități de lumină, vecine cu întunericul deplin. Prin aceste experiențe, s-a arătat că fotosinteză se comportă din acest punct de vedere ca reacțiile de fotochimie care la scăderea intensității de lumină, mai au loc, tinzînd spre valoarea egală cu 0, la intensitatea luminii egală cu 0.

Valorile maxime ale intensității fotosintezei

Willstätter R. și A. Stoll dau la concentrația CO_2=5% și la temperatura de 20° la 100 cm² frunză pe oră, valoarea cea mai mare, la Helianthus annuus de 80 mg. CO_2 dm² oră. La celelalte plante au obținut valori între 20-40 mg. CO_2 dm² oră, de exemplu la frunzele de tei 28 mg. la Qercus robur 41 mg., la ulm 21 mg. etc.

La plantele submerse, valoarea maximă a fotosintezei în condiții de concentrații mărite de CO_2 și lumină puternică, nu depășește 14 mg. CO_2 cum au găsit cercetătorii Knip, Emerson, Grűn și Gessner. Așa de ex. la Gigartina harveyana s-a obținut fotosinteza maximă 14 mg. dm² oră, la Ulva lactuca numai 1,3 mg. CO_2 dm² oră. La alga Chlorella pyrenoidosa fotosinteza maximă e mai intensă ca la alte alge. Chlorella se remarcă printr-un conținut bogat de clorofilă de 3-4%, în timp ce frunzele plantelor aeriene conțin numai 0,5-1%.

Gessner a arătat că plantele superioare submerse, au fotosinteza mai scăzută decît plantele aeriene. De ex. Potamogeton perfoliatus asimilează numai 4,8 mg. CO_2 dm² frunză oră. El atribuie acest fapt greutății de aprovizionare a plantelor submerse cu CO_2. El a putut constata o alcalinizare a apei în jurul plantelor submerse. Plantele submerse sînt



Fi. 73 a. Fotosinteza la intensități mici de lumină, la frunzele de Robinia pseudacacia (după N. Sălăgeanu).

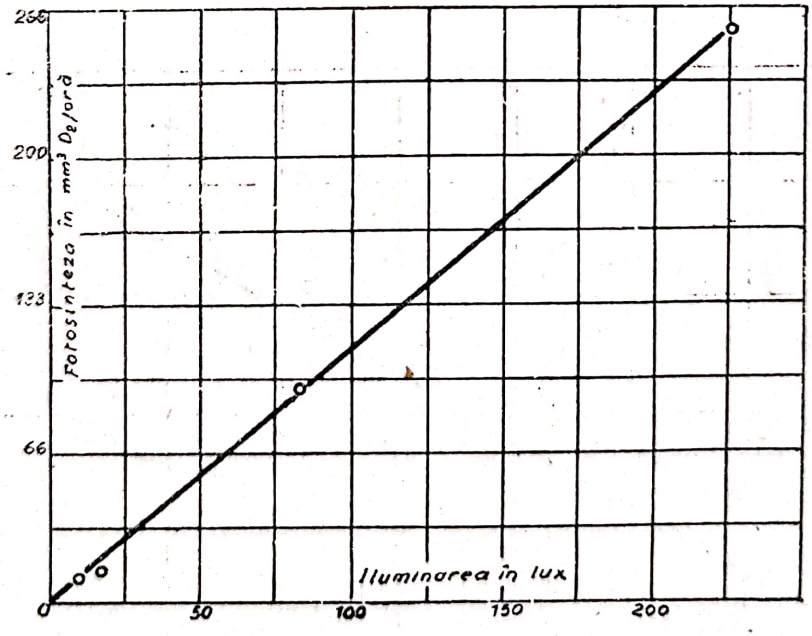


Fig. 73 b. Intensitatea fotosintezei sub punctul de compensație în funcție de intensitatea luminii (după N. Sălăgeanu).

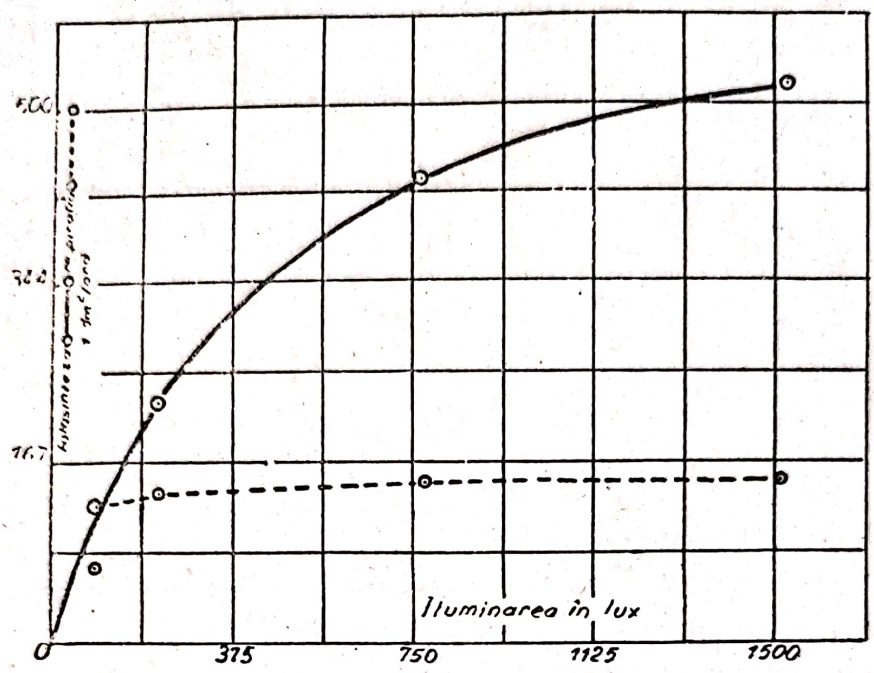


Fig 73 a Intensitatea fotosintezei la intensităţi mici de lumină la frunzele de Fagus silvatica (după N. Sălăgeanu).

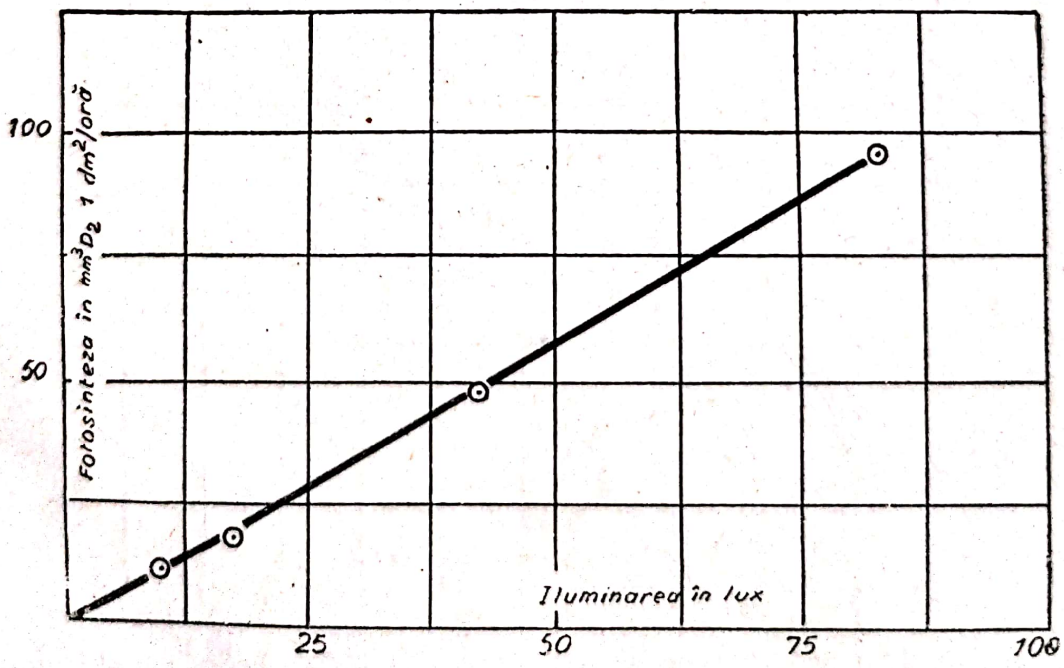


Fig. 74 b. intensitatea fotosintezei sub punctul de compensaţie în funcţie de intensitatea luminii (după N. Sălăgeanu).

însă în genere adaptate la lumină slabă, și ele trebuie comparate cu frunzele ombrofile ale plantelor aeriene.

Frunzele embrofile la care fotosinteza merge paralel cu abscisa la intensități relativ slabe la lumină, sînt mai sensibile la intensități mari de lumină. La ele fotosinteza, e inhibată la intensitatea de lumină la care la frunzele heliofile nu se observă nici o inhibare.

La algele colorate diferit, Monfort a constatat o rezistență neegală față de lumina intensă. În genere, prezența pigmentului albastru (ficocianină) prelungește rezistența algelor roșii la lumină intensă (experiență cu Delesseria și cu Gigartinia).

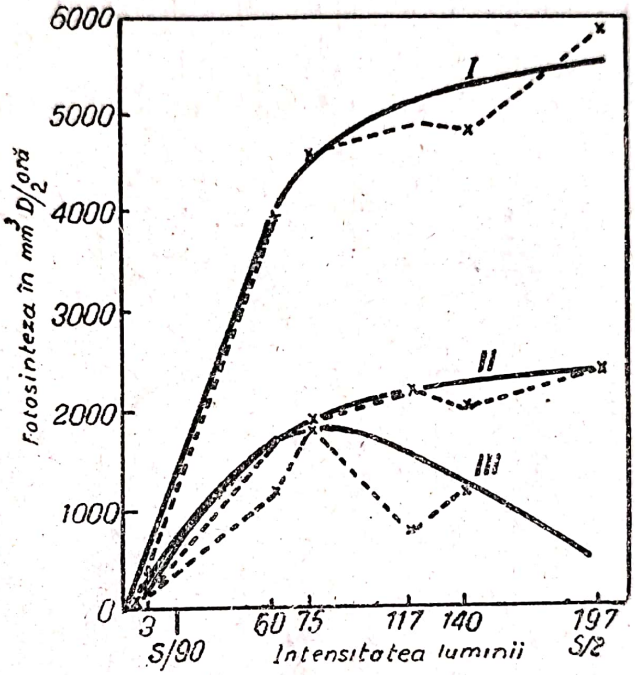


Fig. 75. Intensitatea fotosintezei algelor roșii, brune și verzi, în funcție de intensitatea luminii. Pe abscisă — intensitatea luminii în funcție de lumina solară directă, S. I — Cladophora rupestris, algă verde; II—Fucus vesiculatus, alga brună; III—Rhodimenia palmata, algă roșie.

Intensitatea maximă a fotosintezei în condițiile din natură. În zona temperată la diferite plante, valoarea fotosintezei e cuprinsă între 2 și 20 mg CO_2 dm^2 oră. În U.R.S.S. s-au obținut valori aproximativ de 2 ori mai mari la multe plante. Așa de ex. la Trifolium repens, 36,6 mg. CO_2 dm^2 oră. În pustiuri s-au obținut unele valori mari, mergînd pînă la 65,8 mg. CO_2 dm^2 frunză, ca de ex. la Capparis herbaceea. În podișul Pamir, s-au obținut valori mari la Gentiana algicola 100 mg. CO_2 dm^2 oră și în Alpi, la Alchemilla alpină, 90 mg. CO_2 dm^2 frunză.

S. P. Kostîcev și colaboratorii săi Bazîrina și Vasiliev, au obținut în U.R.S.S. valori mari pentru fotosinteză cu metoda jumătăților de frunză a lui J. Sachs. Ei sînt de părere că valorile mici ale cercetătorilor danezi, P. Boyessen-Jensen și Müller se datoresc unor greșeli experimentale, ca de ex. vitezei prea mici a curentului de aer folosită de ei la determinări. Valorile mari ale intensității fotosintezei din munți

înalți, sînt greu de explicat, mai ales ținînd seama de faptul că în aceste locuri, concentrația CO_2 în aer e mult scăzută. Așa de ex. în Pamir Blagovescenskii A. B., a găsit concentrație CO_2=0,1—0,2‰.

Lumina solară constă dintr-un număr mare de raze, dintre care cele vizibile au lungimea de undă între 400 m μ și 750 m μ. Soarele emite și alte raze, neperceptibile pentru ochiul nostru, cum sînt: razele ultra violete, cu lungimea de undă sub 400 mμ și razele ultra roșii, cu lungimea de undă mai mare de 750 mμ. Compoziția radiațiilor luminii solare, se schimbă cu unghiul lor de incidență. În genere procentul razelor cu lungimea de undă mică, e cu atît mai mare, cu cît unghiul de incidență al razelor solare se apropie mai mult de 90°. Grosimea atmosferei străbătută de razele luminii solare, crește cu unghiul de incidență. Din această cauză, scade intensitatea luminii, pe măsura în care razele solare se apropie de orizont. Așa de ex. la unghiul de 10° cu orizontala,

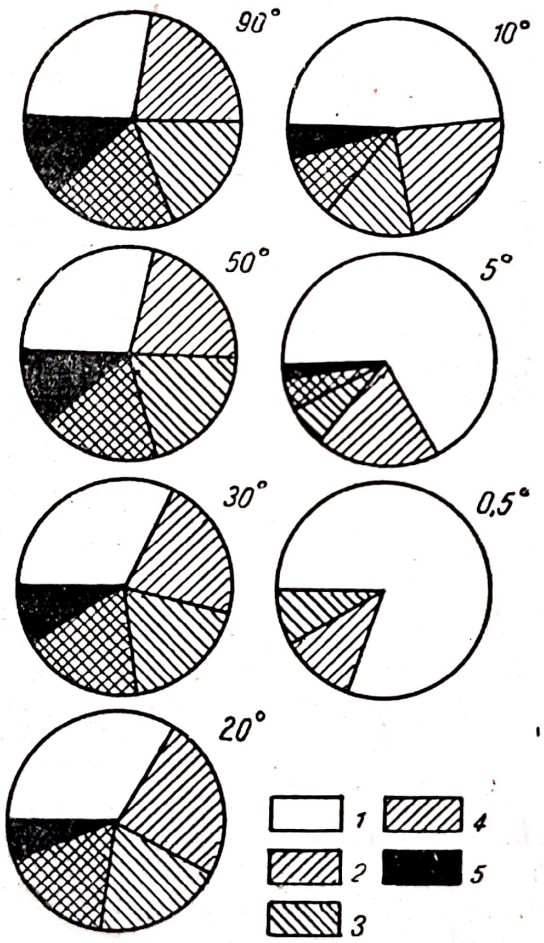


Fig. 76. Compoziția spectrală a radiațiilor soarelui la înclinații diferite. 1 — radiații roșii; 2—radiații galbene; 3—radiații verzi; 4—radiații albastre; 5—radiații violete (după B. A. Rubin 954).

razele solare străbat prin atmosferă, un drum de 5,5 ori mai lung decît la 90°, iar la unghiul de 5° cu orizontală, distanța străbătută de razele solare prin atmosferă, e de 35,4 ori mai mare decît la unghiul de 90° cum a arătat N. N. Kalitin.

Razele cu lungimea de undă mică, sînt mai puternic dispersate de atmosferă, ca cele cu lungimea undei mai mare. Din această cauză, pro-

porția lor scade cu lungimea drumului străbătut prin atmosferă, adică scade pe măsura în care soarele se apropie de orizont, așa cum se vede în fig. 76.

Cum a arătat Kalitin N. N. din razele solare directe, ce cad asupra unei frunze verzi, de arțar, sînt reflectate 28%, absorbite 50%, iar 32% străbat frunza, *fig. 77 Aa*. — La frunzele de culoare gălbuie crește procentul razelor străbătute și al razelor reflectate și scade acela al razelor absorbite.

L. A. Ivanov (1918, 1920 și 1925) a cercetat cu ajutorul fitoactinometrului imaginat de el, radiațiile active în procesul fotosintezei, numite de el „radiații fiziologice", iar de D. A. Sabinin, „radiații active în fenomenul fotosintezei". Actinometrul lui L. A. Ivanov constă din două termometre identice, ale căror rezervoare sînt înconjurate cu două vase mici, care conțin unul toluol curat, iar celălalt o soluție de pigmenți

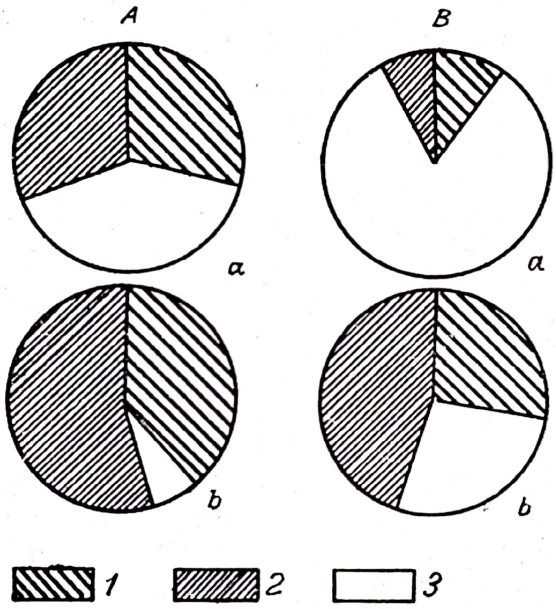


Fig. 77. Radiațiile reflectate (1) străbătute (2) și absorbite (3) de frunza de arțar. A—radiațiile totale ; B—radiațiile de lumină a—frunză verde ; b—frunză gălbue (după Liubimenko).

clorofilieni în toluol. Ținînd fitoactinometrul la lumină, termometrul înconjurat de soluția de pigmenți clorofilieni, arată o temperatură mai ridicată decît celălalt termometru. Diferența temperaturii, e direct proporțională cu razele de lumină absorbite de pigmenții clorofilieni. În lumina difuză a cerului albastru, radiațiile active în fotosinteză reprezintă 90% din intensitatea luminii totale. Din lumina solară directă, radiațiile active în fotosinteză reprezintă numai 40-50%, iar din lumina umbrei plantelor, ea reprezintă abia 10%. Proporția mică a luminii absorbite de pigmenții clorofilieni în acest din urmă caz, se explică printr-aceea că prin frunzele plantelor străbat mai ales razele de lumină nereținute de pigmenții clorofilieni.

Din lumina vizibilă a soarelui, adică dintre razele cu lungime de undă cuprinse între 400-750 m μ, frunzele absorb un procent cu mult

mai mare de raze, mergînd pînă la 82%, iar procentul razelor reflectate, scade de 3 ori, și al razelor străbătute, de 4 ori, cum se vede în fig. 77 Ba. Din acest exemplu, se vede adaptarea plantelor la condițiile de iluminare, deoarece în fenomenul fotosintezei, sînt active numai razele de lumină, cu lungimile de undă cuprinsă între 400-750 m μ. Razele ultra violete și cele ultra roșii, absorbite de frunze au un efect dăunător, întrucît ele se transformă în căldură, care la rîndul ei mărește în mod inutil intensitatea transpirației.

Așa cum a arătat N. I. Sidorin, cantitatea razelor absorbite, depinde de cantitatea și de natura pigmenților din frunze.

Frunzele de fasole, de culoare verde deschisă, absorb cu 12% mai puțin iar cele de culoare gălbue, cu 55% mai puține radiații, ca frunzele de culoare verde închisă. Din totalitatea luminii difuze absorbite, aproximativ 60% e absorbită de către pigmentul clorofilian verde. Ceilalți pigmenți ai frunzei, intervin de asemenea în absorbția razelor de lumină, iar la frunzele care conțin antocian, intervine și acest pigment.

În frunze, reținerea razelor de lumină se face mai ales de pigmenții clorofilieni, care la rîndul lor, se găsesc în plastide. Din masa totală a frunzei, plastidele reprezintă numai 20-25%. De aici rezultă, că în plastide, pigmenții sînt de 4-5 ori mai concentrați, decît dacă ei ar fi uniform repartizați în întreaga massă a frunzei, Chiar și în interiorul cloroplastelor vii, pigmenții clorofilieni nu sînt repartizați uniform, așa cum arată cercetările cu microscopul electronic. Mai ales stroma cloroplastelor, conține o cantitate mai mică din pigmenții clorofilieni. Din această cauză, absorbția razelor de lumină de către frunzele vii, se face altfel decît de pigmenții clorofilieni extrași cu diferiți dizolvanți, chiar cînd avem grijă ca în medie, pigmenții frunzei să fie în dizolvant, în aceeași concentrație ca în frunză. În cazul frunzelor vii, de ex. la urzică, se absoarbe un procent relativ mare din diferite radiații, iar două frunze de urzică suprapuse, absorb aproape în întregime razele de lumină cu lungimea de undă între 400-750 m. μ cum se vede în *fig. 78.*

Pentru cercetarea acțiunii lungimii de undă a razelor de lumină asupra intensității fotosintezei, se fac determinări asupra acesteia în lumina monocromatică. Aceasta se poate obține prin refracția luminii solare, de către prisme. Pe această cale, se obține o lumină slabă, deoarece fanta prin care intră lumina în prizmă, trebuie să fie îngustă. Un alt mijloc folosit, e acela de a filtra lumina prin soluții colorate, sau prin sticlă colorată. Aceste filtre, lasă să treacă atunci cînd sînt bine construite, numai razele de lumină de o anumită lungime de undă. Ca sursă de lumină, se poate folosi lumina solară, lumina arcului voltaic, sau lumina lămpii cu vapori de mercur. Aceasta din urmă emite raze de lumină, a căror lungime de undă diferă mult între ele, ceea ce ușurează separarea lor prin filtrare. Greutatea cea mai mare în astfel de experiențe, constă în procurarea luminii monocromatice de intensitate egală, în toate culorile spectrului.

Sénébier, a arătat cu clopotele sale cu pereți dubli de sticlă, între care punea soluții colorate, că în jumătatea spectrului cu raze cu lungimea de undă mai mare, fotosinteza are loc mai intens, decît în cealaltă jumătate a spectrului, ce conține raze cu lungimea de undă mai mică.

Draper, V. P. Pfeffer și J. Sachs susțineau că fotosinteza are loc mai intens în lumina galbenă și au explicat acest fapt prin impresionarea ochiului omenesc mai puternic de către razele galbene, care apar mai strălucitoare. Faptul că frunzele rețin relativ slab lumina galbenă a dat naștere la interpretări idealiste, în sensul că substanțele organice,

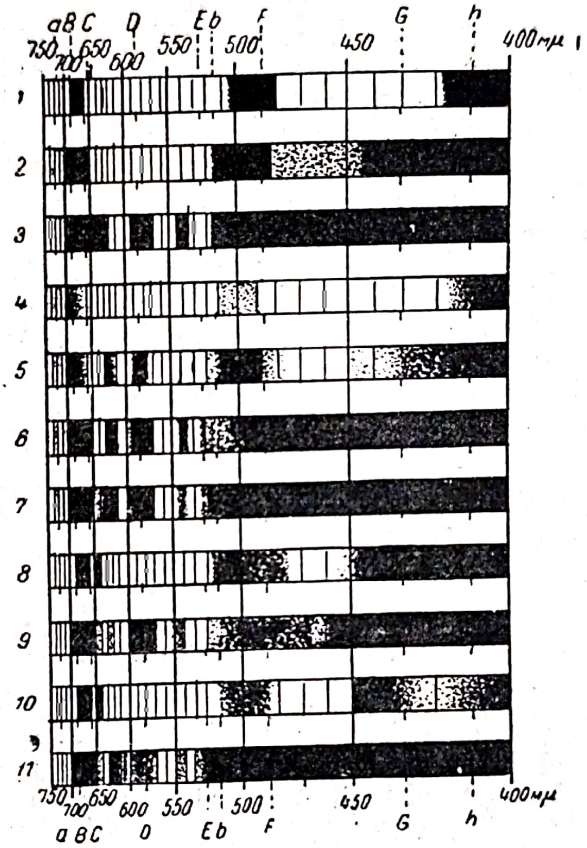


Fig. 78. Absorbția radiațiilor de către organele vii ale fotosintezei. Ulva spec. 1—două straturi; 2—patru straturi; 3—șapte straturi; Wistaria sinensis: 4— o frunză; 5—două frunze; 6—trei frunze; 7—patru frunze; Angiopteris eretca: 8—o frunză; 9—două frunze; Urtica dioica: 10—o frunză; 11—două frunze (După Liubimenko).

ar fi sintetizate de frunze, cu ajutorul unei forțe vitale și nu cu ajutorul energiei luminoase. K. A. Timiriazev, a arătat greșeala experimentală făcută de Draper, la elaborarea unor astfel de teorii. Pregătindu-și lumina monocromatică cu ajutorul unei prisme, Draper a lărgit mult fanta prin care razele de lumină pătrund în prismă, el urmărind să obțină prin acest procedeu, lumină monocromatică mai intesă. K. A. Timiriazev, a dovedit însă, că prin acest procedeu, prisma nu separă bine razele de

lumină, așa încît razele galbene sînt amestecate cu raze portocalii și cu raze roșii. Experimentînd cu fante mici, K. A. Timiriazev, a arătat că intensitatea maximă, a fotosintezei, are loc în lumina roșie, de unde scade în spre lumina cu lungime de undă mai mică, cum se vede în *fig. 79*. Cum lumina monocromatică obținută cu ajutorul prismei e relativ slabă, trebuie metode sensibile de cercetare. De aceea G. A. Timiriazev, a elaborat o pipetă cu care putea analiza cu precizie mare, cantități foarte mici de gaz.

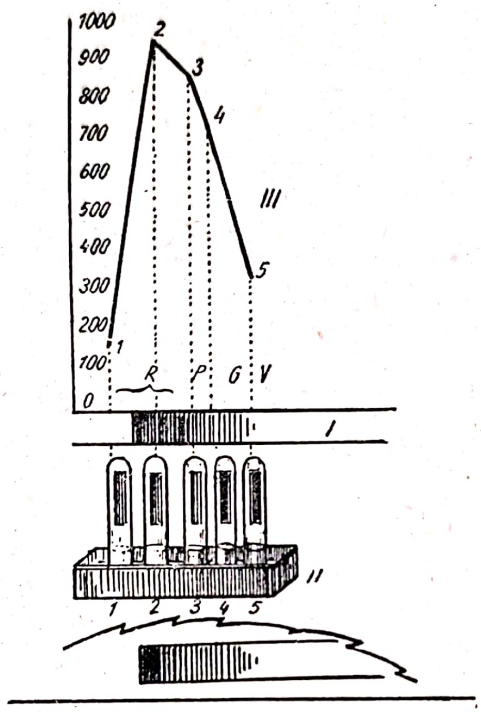


Fig. 79. Experiența prin care K. A. Timiriazev a stabilit intensitatea fotosintezei în diferite raze ale spectrului. I—absorbția razelor de diferite culori de către frunze. R—raze roșii, P—raze portocalii. G—raze galbene, V—raze verzi. Culoarea închisă arată absorbția mai puternică a razelor roșii. II—experiența montată. Se văd fășiile tăiate din aceeaș frunză, ținute în tuburi închise ce conțin un aer cu o cantitate sporită de bioxid de carbon. III—graficul arată că fotosinteza decurge cel mai puternic în dreptul razelor roșii.

În experiențele sale, K. A. Timiriazev, a expus fășii de frunze în eprubete cu aer ce conținea o cantitate cunoscută de CO_2 și apoi după expunerea la lumina monocromatică a eprubetelor cu fășiile de frunze, analiza din nou compoziția chimică a aerului din eprubete. El s-a mai servit și de o altă metodă, și anume a proiectat un spectru pe suprafața unei frunze de fasole, și făcînd apoi proba cu iod a lui Sachs, a constatat că sinteza amidonului are loc în cantitatea cea mai mare sub acțiunea razelor roșii și scade spre razele violete, paralel cu scăderea lungimii de undă a luminii, *fig. 80*.

K. A. Timiriazev a arătat astfel că optimul intensității fotosintezei are loc cu ajutorul razelor de lumină roșii, pe care pigmenții clorofilieni

le absorb în proporţia cea mai mare. După părerea sa, razele de lumină roşii, avînd lungimea de undă mare, conţin o cantitate mai mare de energie. El a interpretat însăşi culoarea verde a frunzelor datorită pigmenţilor clorofilieni, prin teoria evoluţiei vieţuitoarelor, elaborată de Ch. Darwin şi propagată de el. În decursul timpului îndelungat, plantele s-au adaptat la mediul înconjurător, elaborînd pigmentul verde care absoarbe lumina roşei ce poate fi folosită mai eficace în fenomenul fotosintezei.

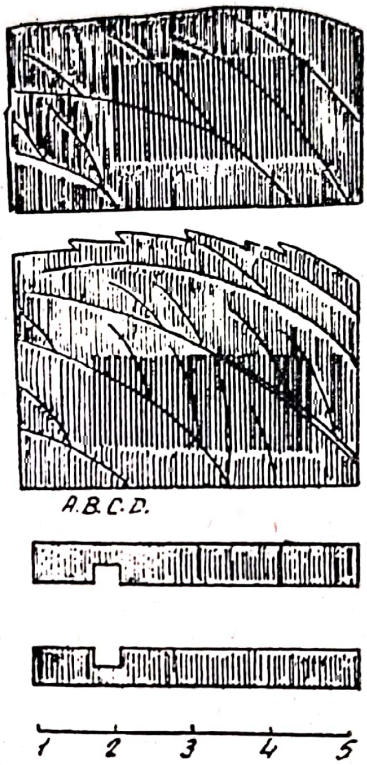


Fig. 80. Un spectru proiectat de K. A. Timiriazev pe o frunză provoacă formarea amidonului : Amidonul se formează în partea stîngă, între B şi C unde se găsesc razele roşii. De aici cantitatea de amidon scade spre razele violete ale spectrului, în partea dreaptă a figurii.

Pigmenţii frunzelor absorb intens în soluţii şi razele violete. Aici însă intensitatea fotosintezei, reprezintă abia 14% din intensitatea fenomenului în raze roşii. K. A. Timiriazev, explică acest fapt prin cantitatea de energie mai mică a acestor raze, şi prin proporţia lor mai mică în lumina venită dela soare.

La algele verzi, maximul de intensitate a fotosintezei, are loc ca şi la plantele verzi aeriene în lumina roşie. Aceste alge trăiesc la adîncime relativ mică a apei mărilor şi oceanelor. Aşa cum au arătat A. A. Richter şi Engelmann, la algele roşii optimul de intensitate a fotosintezei are loc în lumina verde pe care o şi absorb mai intens. *Fig. 82.* Aceste alge au un pigment suplimentar, ficoeritrina, de culoare roşie, care maschează pigmenţii clorofilieni şi care face posibilă absorbţia în cantitate mare, mai ales a razelor complimentare verzi. Faptul acesta e în legătură cu mediul

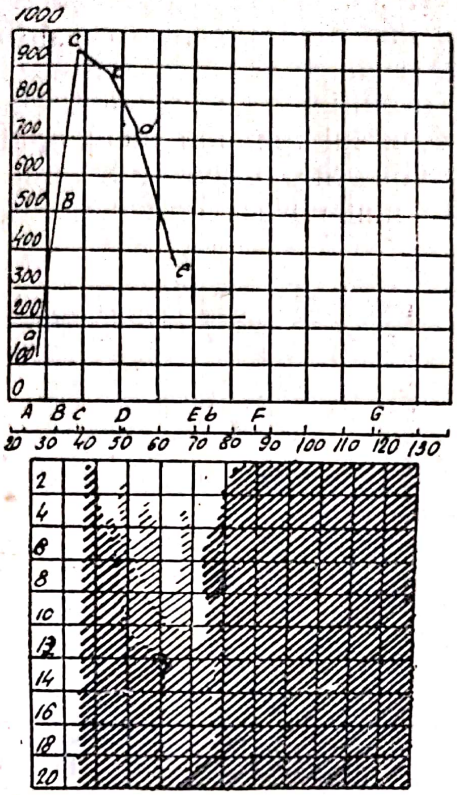


Fig. 81. Intensitatea fotosintezei: în partea de sus e trecută intensitatea fotosintezei în dreptul diferitelor raze ale spectrului, iar în partea de jos a figurii e trecută absorbția luminii de către o soluție de clorofilă. Se vede că fotosinteza decurge cel mai puternic în dreptul razelor roșii, între B și C, de unde scade în intensitate spre razele verzi în dreptul liniei E, care sînt mai puțin reținute de clorofilă. (După K. A. Timiriazev)

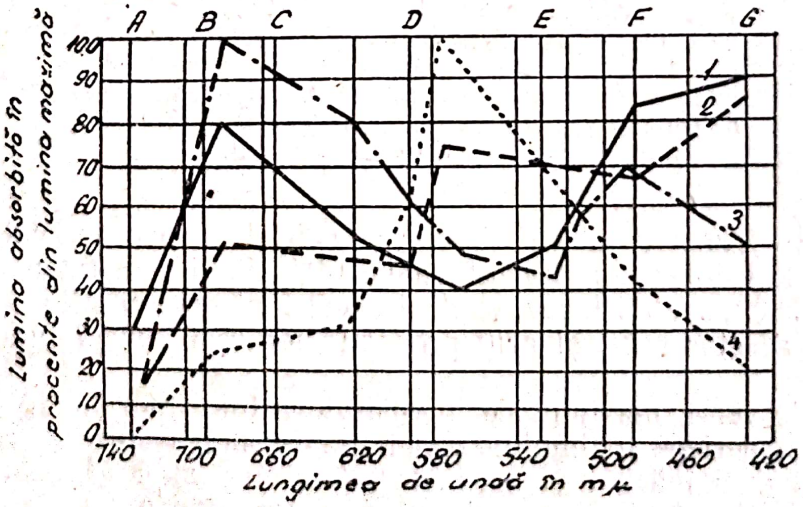


Fig. 82. Absorbția luminii și intensitatea fotosintezei algelor verzi și roșii. 1— radiațiile absorbite de algele verzi, 2— radiațiile absorbite de algele roșii, 3— intensitatea fotosintezei algelor verzi 4— intensitatea fotosintezei algelor roșii (după B. A. Rubin).

Scanned with OKEN Scanner

de viață al acestor alge. Într-adevăr algele roșii, trăiesc în mări la adîncime relativ mare, la care razele roșii de lumină nu pătrund, dar pătrund razele cu lungime de undă mai mică, verzi și albastre. Un strat de apă de 1,8 m. grosime absoarbe din:

razele cu lungimea de undă de 670 m. μ 50%
„ „ „ 600 m. μ 38%
„ „ „ 550 m. μ 13%
„ „ „ 470 m. μ 5%

Peste adîncimea de 34 m. în mod practic nu mai există deloc raze roșii de lumină, în timp ce razele albastre și violete pătrund pînă la adîncimea de 500 m.

Algele se adaptează, luînd culoarea complimentară a radiațiunilor luminii din mediul înconjurător. Astfel R. Harder a arătat că cianoficeele cultivate în lumina roșie iau o culoare verde, iar cele cultivate în lumina albastră, devin cu timpul purpurii.

Fotosinteza are loc cu intensitatea optimă în acea lumină monocromatică la care s-au adaptat algele. Astfel algele cultivate în lumina roșie, asimilează mai intens în această lumină, iar cele cultivate în lumină albastră, mai intens în aceasta din urmă. Experiențe interesante asupra acestei probleme a făcut și N. M. Gaidukov cu algele albastre.

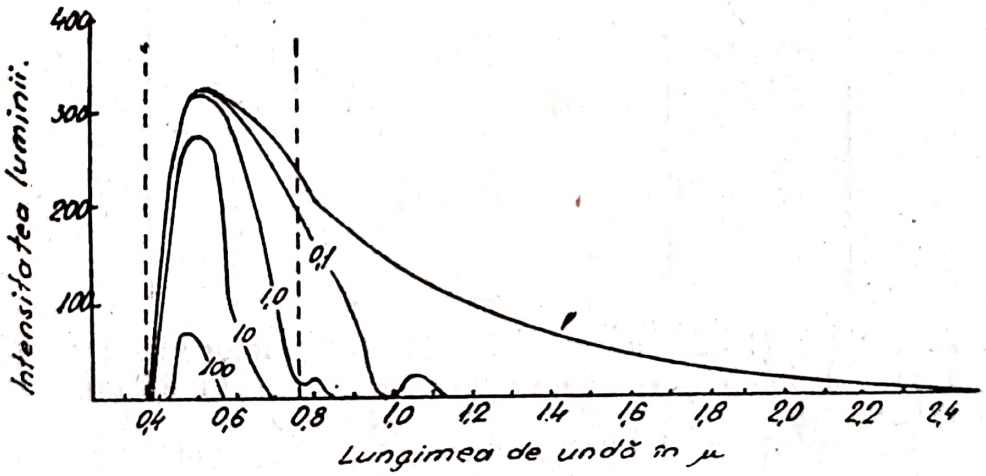


Fig. 83. Pătrunderea radiațiilor solare în apa mării. Adîncimea în m. e trecută pe curbe. Între liniile punctate sînt cuprinse radiațiile de lumină (după Sabinin 1955).

Repartizarea energiei spectrului solar la suprafața apei și la diferite adîncimi, e trecută în *fig. 83*. Un strat de apă de grosime de 1 m, absoarbe aproape în întregime radiațiile infraroșii. Peste adîncimea de 10 m, mai pătrund puține raze de lumină cu lungimea de undă mare. La această adîncime pătrund raze cu lungimea de undă mai mică, care dau o lumină slabă de culoare albastră verzuie. Intensitatea acesteia scade relativ încet cu adîncimea, astfel că în apele limpezi, ea e suficientă să provoace fotosinteza, pînă la adîncimea de 100 m. Scăderea mai mare a intensității luminii în diferitele regiuni ale spectrului solar, cu adîncimea, e trecută în tabela 11.

Intensitatea luminii în diferitele regiuni ale spectrului, la adîncimi diferite ale oceanului

Tabel nr. 11.

Adincimea m	Regiunea spectrului		
	Roşie	Verde	Albastru-violet
4	3,7	340	866
10	2,7	166	666
20	0,03	21	200

Răspîndirea algelor de diferite culori în golful Kiel, e trecută în tabela 12. La adîncimea de 0—2 m. predomină speciile algelor verzi, iar la adîncimile mai mari, predomină speciile algelor brune şi roşii.

Răspîndirea algelor de culori diferite în apa golfului Kiel

Tabel nr. 12.

Adincimea în m	Numărul speciilor de algo		
	verzi	brune	roşii
0— 2	30	11	4
7— 8	10	15	18
8—12	3	9	11
18—25	—	5	7

A. A. Richter (1912), a cercetat intensitatea fotosintezei la diferite grupe de alge, în lumină artificială monocromatică, obţinută prin filtrarea luminii solare, prin soluţii colorate. Tabela 13 arată că în lumina verde algele roşii Nitophyllum şi Litothamnion, asimilează mai intens ca alga verde Ulva.

Intensitatea fotosintezei algelor verzi şi roşii în lumină diferită

Tabel nr. 13.

Alga	Lumina			
	directă solară	roşie	verde	albă slabă
Ulva (verda)	100	35(100)	23(100)	86(100)
Nitophyllum (roşie)	100	43(123)	56(243)	177(206)
Litothamnion (roşie)	100	11(31)	45(196)	77(90)

Tabela 14 ne arată în lumina albastră o asimilație clorofiliană mai intensă la algele brune Laminaria și Dictyota dichotoma, ca la alga verde Ulva lactuca. Alga brună Fucus serratus face o excepție în această privință, ea asimilînd mai slab ca alga verde. Această excepție se explică prin aceea că algele Laminaria și Dictyota dichotoma sînt de adîncime mare, în timp ce alga Fucus serratus trăiește la adîncime mică în care pătrund în proporție relativ mare și razele roșii.

Intensitatea fotosintezei algelor marine în lumina roșie și albastră de aceeași intensitate

Tabel nr. 14.

Alga	Lumina	
	roșie	albastră
Laminaria	100	129
Dictyota dichtoma	100	148
Fucus serratus	100	57
Ulva lactuca	100	82

Odată cu adîncimea scade mult și intensitatea luminii, din cauza absorbției ei de către apă. Plantele submerse dela adîncime mare, pot fi comparate cu planetele aeriene ombrofile. Ca și la acestea, V. N. Liubimenko, a constatat un conținut ridicat de pigmenți clorofilieni.

Brown a găsit că plantele folosesc în fotosinteză numai 1% din energia ce cade asupra lor, sau 2,5% din razele vizibile absorbite de plantă.

Purievici K. a găsit că frunzele de floarea soarelui folosesc 4,5% din energia ce cade asupra lor, sau 7,5% din radiațiile cu λ =400—700 mμ absorbite. J. Ch. Bose a găsit că frunzele de Hydrilla folosesc 6,7% din radiațiile luminii cu λ =400—700 mμ absorbite.

A. Pűtter (1914), a calculat că prin arderea recoltei complete (a părții aeriene și subterane) a plantelor de cultură (grîu de primăvară, secară, orz, cartof, sfeclă, trifoi) se obțin 0,39/0,65 h. cal./cm^2. Iradiația totală în decursul vegetației reprezintă valori cuprinse între 12,3 și 30,0 h. cal/cm^2. De aici rezultă o folosire a energiei luminii cuprinsă între 1,8 și 4,6% din energia totală căzută, sau aproximativ 6% din lumina absorbită cu λ mai mic de 700 m.μ

Spoehr N. A. a obținut valori mai mici reprezentînd 0,13% din radiația căzută asupra unui cîmp de grîu, sau 0,35% din radiația căzută asupra unei păduri. Ca valori medii se pot lua următoarele: plantele folosesc în fotosinteză 1% din totalitatea energiei solare căzute, sau 2,5% din radiațiile de lumină absorbite. La acestea le corespunde un randament quantic de 0,01 (o moleculă de CO_2 e redusă de 100 quante de lumină vizibilă, absorbite).

Randamentul quantic maxim al fotosintezei e exprimat prin relația:

E = P/Ia, în care
E = randament quantic
P = mol. O_2 produs sau CO_2 absorbit în fotosinteză
Ia = lumina absorbită (fotoni absorbiți în unități Einstein).

Dacă exprimăm randamentul în energia conținută în glucidele formate H_c și Ia, în calorii, atunci $E = H_c/Ia$, poate fi denumit coeficient de transformare a energiei.

Relația între γ și E este următoarea:

$$E = - \Delta Hm_\gamma / \gamma Na\, hv = 3.96.10^{-3}\ \lambda\ m\ \mu\ \gamma \approx 4.10^{-3}\ \lambda\ m\ \mu\ \gamma$$

în care Δ Hm este căldura de ardere a unei grupări (CH_2O) aproximativ 112 Cal. sau $4{,}69.10^{-12}$ ergi; Na — numărul lui Avogadro ($6{,}02.10^{23}$); h = constanta lui Plank ($6{,}55.10^{-12}$); v — viteza luminii ($3.10^{17/-27}$).

Concepția asupra randamentului quantic, a apărut ca un rezultat al aplicării teoriei quantice a lui Einstein (1913), în fotochimie. Einstein a presupus că energia luminii constă din quante determinate, (fotoni). El a dedus că numărul moleculelor transformate pe cale fotochimică N, prin absorbția unei anumite cantități de lumină, trebue să fie egal cu numărul fotonilor absorbiți Nhv (legea echivalenței fotochimice a lui Einstein). Cercetările ulterioare, au dovedit că legea lui Einstein se aplică numai în procesul fotochimic primar, în timp ce viteza sumară a reacției fotochimice depinde de obiceiu de eficacitatea reacțiilor secundare, care succed reacției primare. De obiceiu, valoarea randamentului quantic, e mai mică sau mai mare decît unitatea.

O quantă a luminii vizibile, în valoare de 40 — 60 Cal./Einstein, nu este suficientă să facă să reacționeze între ele, o moleculă de CO_2, și o moleculă de H_2O, la nivelul din lanțul glucidelor — CH_2O — deoarece, pentru aceasta trebuesc aproximativ 112 Cal./mol. Rezultă că pentru reducerea unei molecule de CO_2, trebuesc mai multe quante de lumină. Prezintă un interes deosebit cunoașterea valorii maxime a randamentului quantic.

Warburg O. și Negelein E. (1922—1923) au determinat randamentul maxim al fotosintezei cu metoda manometrică la alga Chlorella pyrenoidosa. Ei au simplificat problema, servindu-se de o suspensie deasă de alge, și de o lumină foarte slabă (sub punctul de compensație) astfel încît aceasta să fie absorbită în întregime de alge. Lumina folosită era de 1000 erg./cm² sec. Determinările au durat 10 minute la întuneric și 10 minute la lumină. Ei au obținut valori apropiate de 0,25, de unde rezultă că sînt necesare 4 quante de lumină pentru reducerea unui mol. CO_2. În lumină monocromatică, randamentul quantic maxim al fotosintezei găsit de ei, e cuprins între 0,20 (în lumina albastră și 0,25 în lumina roșie).

Cercetările lui Warburg și Negelein, au fost confirmate de Rieke F. F. (1949) care a găsit un randament quantic la lumină cu λ de 578 m μ de 0,18—0,24 și la lumina cu λ de 546 m μ de 0,17—0,20.

Emerson R. și Lewis C. M. (1938—1939), au obținut tot prin metoda manometrică valori mai mici de 0,1—0,092 la Chlorella și valori aproximativ la fel de mici, la algele Chlorococus, Eudorina, Sticchococcus dintre algele albastre, iar la planta submersă Wolffiella linguata de 0,06.

Tot cu metoda manometrică, folosind discuri din frunze care pluteau pe soluția — tampon Warburg, Wassink E. C. (1946) a stabilit la plan-

tele de cultură, următorul randament quantic maxim, la intensitatea luminii de 10.10^3 erg./cm² sec.

Fragă $1/\gamma = 12{,}1—17{,}8$
Gulie $1/\gamma = 13{,}5—15{,}4$
Tomate „ $= 16 —43{,}5$
Castraveți „ $= 13{,}8—24{,}6$

Wassink E. C. și *Kersten J. A. H.* au stabilit randamentul maxim al fotosintezei la Alga Nitzschia dissipata, găsind valoarea maximă $=0{,}078—0{,}09$ — Valori mici au obținut și *Tanada T.* (1951) la alga Chlorella $=0{,}115$.

Tanada T. (1951) la alga chlorella $\gamma = 0{,}115$.

Numai Eichhoff H. J. (1939) a obținut la Chlorella pyrenoidosa valori mari ca cele ale lui Warburg și Negelein, și anume $\gamma = 0{,}25—0{,}19$.

Alte metode folosite la stabilirea randamentului quantic al fotosintezei.

Metode chimice

Wurmser R. (1923) a stabilit randamentul quantic la alga Ulva lactuca determinînd pe de o parte intensitatea fotosintezei cu metoda *Winkler* și pe de altă parte lumina absorbită. El a ajuns la $\gamma = 0{,}25$

Briggs G. E. (1929) a determinat intensitatea fotosintezei și lumina absorbită a frunzei de fasole, și de soc, obținînd pentru γ valori mai mici de 0,1.

Gabrielescu E. K. (1947) a stabilit cu metodele gazometrice la frunzele de muștar alb, $\gamma = 0{,}1$ și la frunzele de alun și de frasin $\gamma = 0{,}082$ pînă la 0,078.

Cu metode polarografice *Petering H. G.*, *Duggar H. M.*, *Daniels F.* (1939) au stabilit la Chlorella $\gamma = 0{,}045—0{,}1$ iar *Moore V. E.* și *Duggar B. M.* (1945) au găsit la aceeaș algă $\gamma = 0{,}08—0{,}11$.

Metoda calorimetrică. Arnold V. (1949) a determinat cu un calorimetru cantitatea de lumină transformată în căldură de o suspensie a algei Chlorella normală și apoi alga inhibată cu radiații ultraviolete care înlătură fotosinteza, dar nu au un efect simțitor asupra respirației. Prin diferențele ambelor determinări, a stabilit valori mici pentru $1/\gamma$ cuprinse între 9,2 și 20,6.

În natură, intensitatea fotosintezei în funcție de intensitatea luminii, are loc după curba B, — socotind că fotosinteza e de obiceiu de 20 mg. CO_2 pe dm² frunză. În acest caz randamentul folosirii energiei de lumină, scade cu intensitatea luminii după curba B_1. *Fig. 84* arată că la intensități mari de lumină, coeficientul de folosire a luminii în fotosinteză, este sub 1%.

În natură se observă uneori valori mai mari ale fotosintezei, între 30 și 100 mg. CO_2 pe dm²/oră și chiar mai ridicate.

Fotosinteza poate avea loc prin urmare și după curba V, iar folosirea energiei de lumină în acest caz are loc după curba V_1, care arată un randament cuprins între 5—7%. Figura mai prezintă curba ipotetică A_{10} N care randamentul de transformare a energiei de lumină absorbită este de 10%. *Figura 53* arată posibilitățile mari de creștere a fotosintezei (dela curba B la curba A).

Scanned with OKEN Scanner

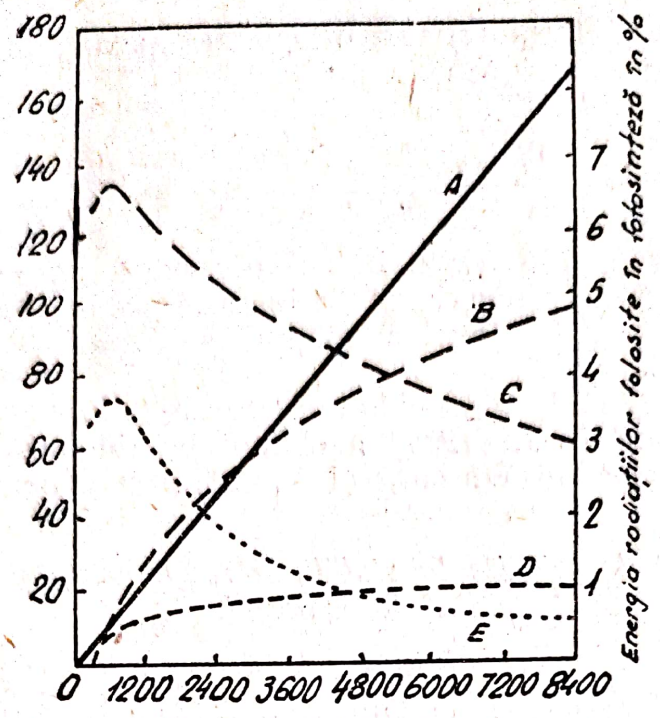


Fig. 84. Intensitatea fotosintezei la diferite iluminări. B— Curba fotosintezei în funcție de intensitatea luminii. C— Energia folosită în %, la intensități diferite ale fotosintezei. D— Intensitatea reală a fotosintezei. E— Energia folosită în fotosinieză, corespunzătoare mersului fenomenului după curba D.

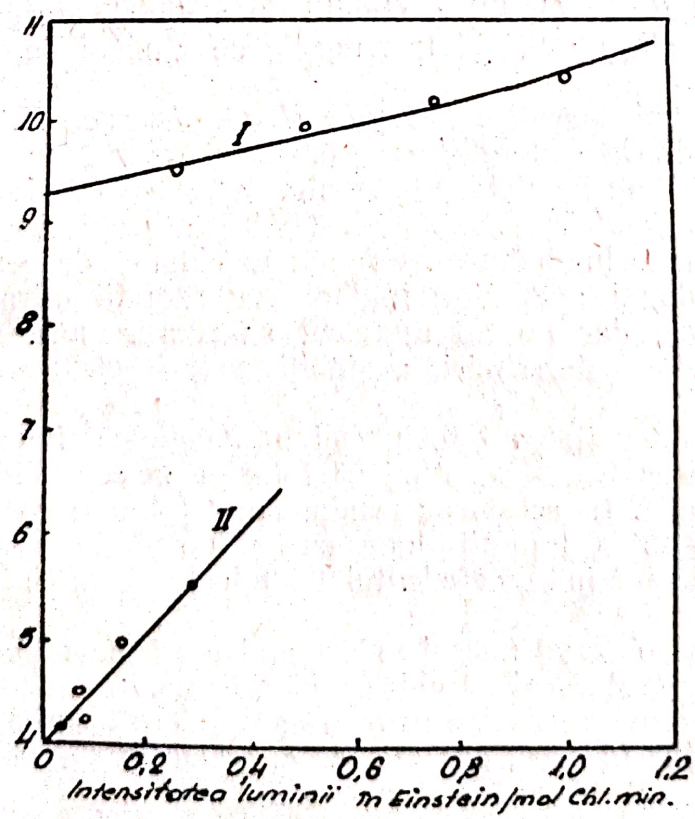


Fig. 85. Randamentul cuantic al algei Chlorella în funcție de intensitatea luminii. I— după Emerson și Louis și II după O. Warburg.

La punctul de compensație care are loc la intensitatea luminii cuprinsă între 25—86 cal. dm^2/oră, se asimilează în fotosinteza aproximativ 10% din razele active, căzute asupra frunzei.

Mărind intensitatea luminii, randamentul quantic al luminii în fotosinteză scade, *fig. 85.*

Intensitatea luminii față de lumina solară.

După Warburg, scăderea are loc mai repede decît după Emerson R. și Lewis C. M. (1943).

Randamentul quantic depinde și de vîrsta celulelor, el scăzînd la celulele bătrîne.

Din randamentul quantic al fotosintezei, rezultă că acest fenomen e complicat, el avînd în afară de reacțiile care duc la sinteză și reacții inverse.

Influența temperaturii asupra intensității fotosintezei.

Temperatura aerului se schimbă foarte mult și odată cu aceasta se schimbă și temperatura frunzelor. Măsurătorile exacte, arată mici deosebiri între temperatura frunzelor și a aerului înconjurător. Din această cauză e mai ușor de cercetat acțiunea temperaturii asupra fotosintezei,

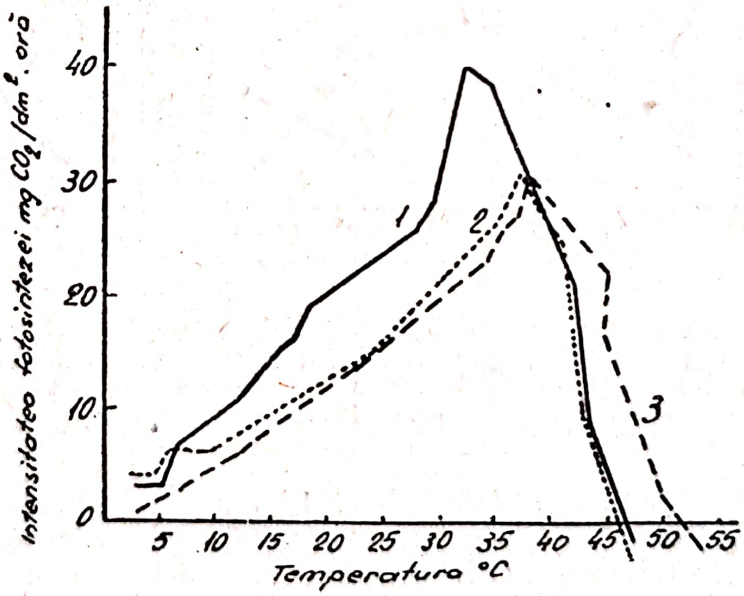


Fig. 86. Influența temperaturii asupra intensității fotosintezei la plante diferite. 1— cartof, 2— tomate, 3— castraveți (după Lundegard)

la plante submerse, a căror temperatură e egală cu a apei înconjurătoare. La cele mai multe plante, fotosinteza începe la 0°, crește cu temperatura pînă spre 30°—37°, după care scade relativ repede, *fig. 86.*

Limita inferioară a temperaturii la care fotosinteza mai are loc se găsește la cele mai multe plante, în jurul temperaturii de 0°. La unele

plante cu frunze verzi în timpul iernii, fotosinteza poate avea loc și la temperaturi mai joase. Așa de ex. frunzele aciculare de molift pot asimila pînă la —35°, iar cele de ienuper, chiar pînă la —40°. Plantele din regiunile tropicale încep să asimileze, abia la temperatura de + 5°C.

La plantele submerse, unii cercetători au găsit că fotosinteza ar avea loc numai peste temperatura de +6°+10°C. Așa de ex. J. Sachs, dă pentru Vallisneria temperatura minimă +6°. Kloetz și Gralivlet arată că temperatura minimă a fotosintezei la Potamogeton e la +10°, iar Blackmann și Smith, arată că la Elodea, temperatura minimă a fotosintezei e la +7°C. Refăcînd aceste experiențe, N. Sălăgeanu a arătat că plantele submerse asimilează CO_2 și la temperatura de 0°. Așa de ex. la 0° Ceratophyllum demersum, produce 0,152 mg. O_2 pe oră la 100 gr. substanță proaspătă, iar Cladophora fracta, produce 0,221 mg. O_2 la 100 gr. substanță proaspătă/oră. Respirația acestor plante la temperatură de 0° e foarte scăzută, astfel încît plantele lucrează cu un bilanț pozitiv. Din aceste cercetări deducem că la plantele submerse, fotosinteza are loc pînă la temperatura de înghețare a apei. Așa se explică creșterea algelor în Oceanul înghețat de nord și de sud, unde temperatura apei e cuprinsă între 0° și —2°.

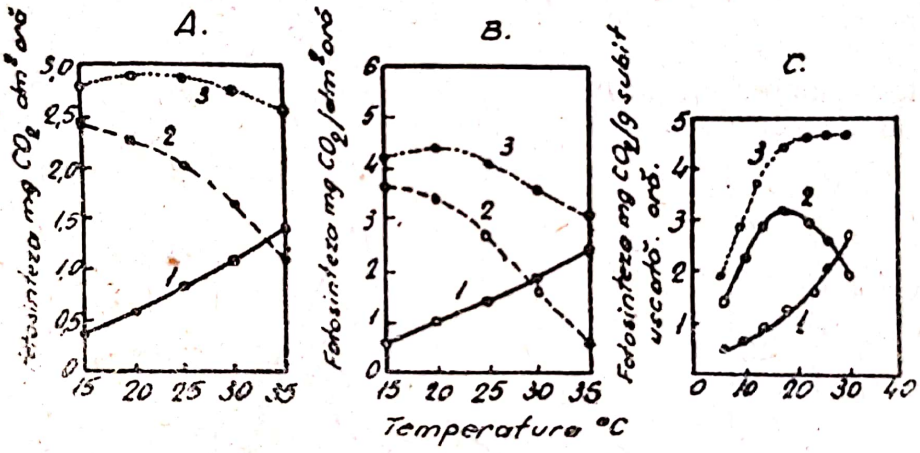


Fig. 87. Influența temperaturii asupra intensității respirației (1), asupra fotosintezei aparente (2), și asupra fotosintezei reale (3). A la mușchiul Fegatella, B la frunzele de Geranium și C la Sphagnum (două Nicipo-rovici 1955)

Temperatura optimă a fotosintezei la majoritatea plantelor din regiunile temperate, e cuprinsă între 30°—37°, cum se vede în *fig. 86*, care reprezintă intensitatea fotosintezei în funcție de temperatură la cartof, tomate și castraveți, după Lundegardh. Tomatele și castraveții fiind plante adaptate la temperatură ridicată, au intensitatea maximă a fotosintezei între 35°—40°, în timp ce la frunzele de cartof, plantă de regiuni mai reci, intensitatea maximă a fotosintezei este cuprinsă între 30°—35°.

Ridicînd temperatura între 15 și 35°C., crește simțitor intensitatea respirației. Intensitatea reală a fotosintezei diferă din această cauză mult de intensitatea aparentă. Mai ales la temperatură ridicată fenomenul respirației fiind intens, modifică simțitor fotosinteza, cum arată experiențele lui Stalfeld 1937, la mușchiul Sphagnum *fig. 87*.

La frunzele din regiuni reci, se constată o adaptare a fotosintezei, la temperatura mai scăzută. Așa de ex. la lichenul Usnea și la mușchiul Hyalocomium, se obține o scădere a intensității fotosintezei peste temperatura de 15°, cum se vede în tabelă. R. Harder a arătat că la aceiași plantă, fotosinteza se adaptează a temperatura mediului înconjurător, într-un timp relativ scurt. Cultivînd timp de 3 luni Elodea canadensis, Fontinalis antipyretica și Cladophora, la două temperaturi diferite, una cuprinsă între 4° și 6° și alta la 20°, el a constatat la plantele cultivate în apa rece, o scădere simțitoare a intensității fotosintezei, atunci cînd temperatura apei crește dela 10° la 20° în timp ce la plantele adaptate la temperatura de 20°, are loc în acest timp o creștere a intensității fotosintezei, cum se vede în *fig. 88.*

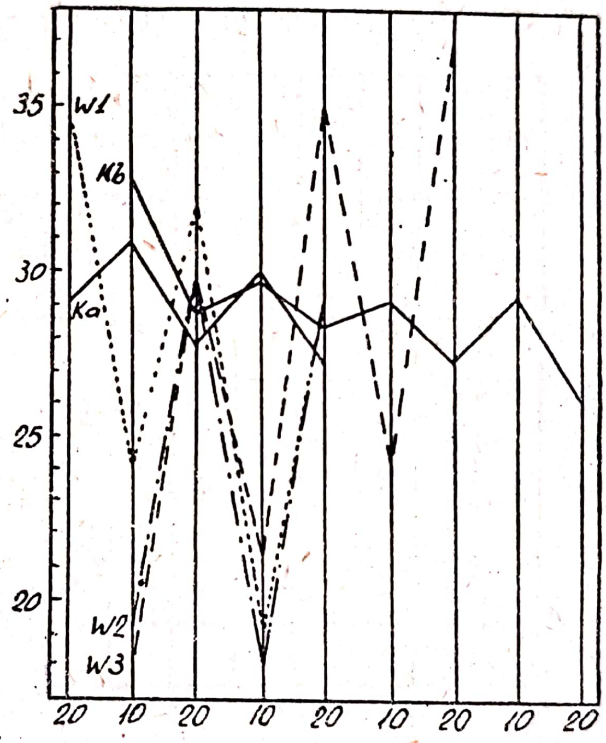


Fig. 88. Influența schimbării repetate a temperaturii de 20° și 10° C asupra intensității fotosintezei la Elodeea canadensis. Ka și Kb fotosinteza la „plante reci" W_1 W_2 W_3 fotosinteza la „plantele calde". Pe abscisă —temperatura, pe ordonată— numărul bulelor degajate în decurs de 1 minut (după R. Harder).

R. Harder, e de părere că adaptarea constă în modificarea factorului protoplasmatic al fotosintezei, care intervine în fenomenul fotosintezei prin enzime, sau în al mod.

Influența temperaturii asupra intensității fotosintezei, se manifestă mai energic la intensități mari de lumină. *Fig. 89* arată că la lumina slabă fotosinteza e de intensitate egală la temperatura de 17° și 25°. Abea la intensități mai mari de lumină apare deosebirea intensității fotosintezei la temperaturi diferite. Faptul acesta se explică prin așa numitele reacții de întuneric, cari alternează cu reacțiile de lumină. Aceste reacții de întuneric au un caracter enzimatic și intensitatea lor depinde în mare mă-

sură de temperatură, ca la reacțiile chimice obișnuite. La intensități mici de lumină, reacțiile de lumină decurg încet și reacțiile de întuneric pot transforma mai departe substanțele produse în reacțiile de lumină, chiar și la temperaturi mai scăzute. La intensitățile mari de lumină, în reacțiile de lumină se elaborează o cantitate mare de produse intermediare, care pot fi repede transformate prin reacțiile de întuneric, numai la temperaturi mai ridicate. La temperaturi mai joase reacțiile de întuneric frînează și reacțiile de lumină, provocînd o intensitate mai scăzută a fotosintezei.

Reacțiile de întuneric au caracter enzimatic, și ele pot fi mai numeroase, transformînd diferite substanțe organice intermediare. Ca exemple de reacții de întuneric pot servi reacțiile lui Hill sau Warburg O., prin care cloroplaste izolate din celule vii, în suspensie apoasă, pot reduce cu ajutorul H din apă, oxizi ferici la oxizi feroși și chinona la hidrochinonă, cu punere în libertate de oxigen. Această reacție cu cloroplaste

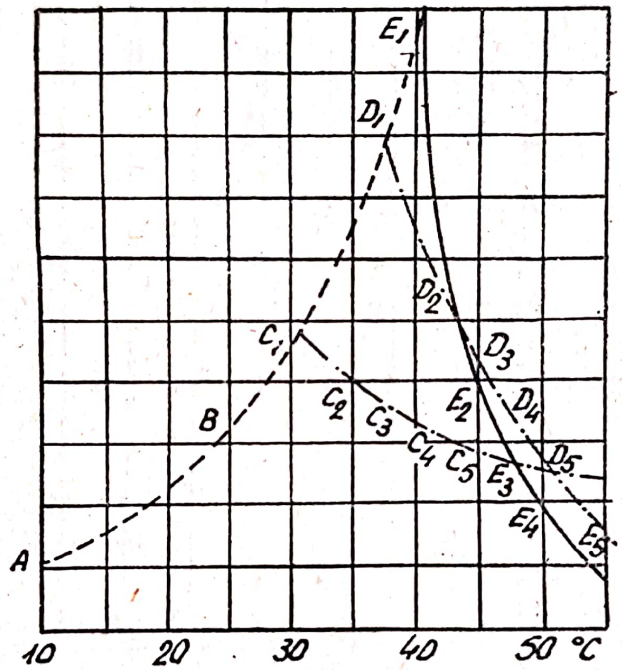


Fig. 89. Acțiunea de durată a temperaturii ridicate asupra intensității fotosintezei. Pe abscisă —temperatura în C⁰ și durata (distanța dintre 5₀ C. corespunde unei durate de 2 ore. Pe ordonată— intensitatea fotosintezei, C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, intensitatea fotosintezei la 30⁰. D_1 D_2 D_3 D_4 D_5, intensitatea fotosintezei la 38⁰ E_1 E_2 E_3 E_4, intensitatea fotosintezei la 40⁰ la intervale de timp succesive.

izolate, durează un timp relativ scurt. Ținînd plantele timp mai îndelungat la temperatura de 37⁰, constatăm că fotosinteza scade în intensitate și temperatura optimă se deplasează spre temperaturi din ce în ce mai joase, cum se vede în *fig. 86*. Acest fapt se explică prin aceea că temperatura de 37⁰, exercită o acțiune dăunătoare asupra cloroplastelor, care se resimte cu atît mai mult, cu cît ea acționează un timp mai îndelungat.

Peste temperatura optimă, intensitatea fotosintezei scade relativ repede. Blackman explică această scădere prin aceea că temperatura ar

exercita simultan două acțiuni, una de stimulare și alta de inactivitate a cloroplastelor, după cum se vede în *fig. 90,* în care acțiunea de stimulare e reprezentată prin curba A B, iar cea de inhibare prin curba C D. Fotosinteza exprimată prin curba A E, urmează rezultanta dintre cele două acțiuni contrarii.

S. P. Kostîcev a exprimat părerea că în fenomenul fotosintezei acționează și un factor protoplasmatic, care intervine în mod indirect în acest fenomen, stimulîndu-l sau inhibîndu-l. Acest punct de vedere e cu totul opus aceluia al lui Blackman, care vedea în fotosinteză numai fenomene fizico-chimice. Teoria aceasta a factorului protoplasmatic a fost susținută de R. Harder, Van der Paav și de colaboratorii lui Kostîcev, Cesnokov și Bazîrina, care au căutat să arate că diferiți factori ai mediului înconjurător ca temperatura, concentrația CO_2 și în parte și lumina, intervin asupra fenomenului fotosintezei nu în mod direct, ci prin intermediul protoplasmei pe care o stimulează sau o inhibă.

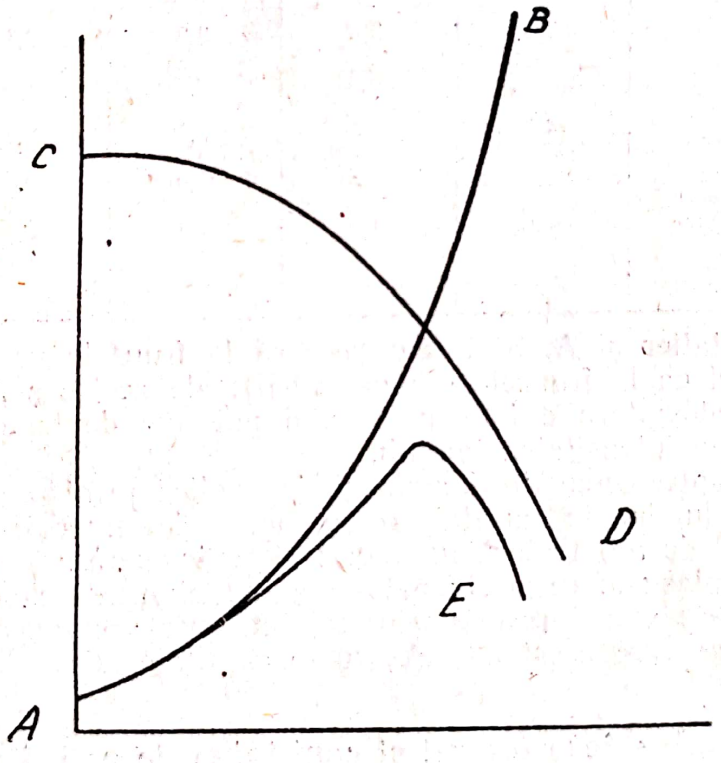


Fig. 90. Schema lui Blakman: AB— curba teoretică a intensității fotosintezei la diferite temperaturi. CD— inactivarea cloroplastelor la temperaturi diferite; AE— curba intensității reale a fotosintezei la temperaturi diferite.

Notînd cu Q_{10} coeficientul temperaturii al fotosintezei, care ne arată creșterea intensității fotosintezei la creșterea temperaturii cu 10°, adică Qt = 10, constatăm că la temperatură mai joasă, între 0° și 10°, Q_{10} are valori mai mari ca la temperatura mai ridicată, de exemplu între 15° și 25°, cum se vede în tabela 15. La plantele din regiunile temperate, la intervalul de temperatură între 20° și 30°, Q_{10} al fotosintezei e cuprins între 1,6 și 1,8, cum se vede din tabela La reacțiile chimice, după legea lui Van't

Hof, Q_{10} e cuprins între 2 și 3. Reacțiile fotochimice depind în măsură mică de temperatură, la ele Q_{10} avînd valori cuprinse între 1,1 și 1,2. Din faptul că Q_{10} al fotosintezei e cuprins între Q_{10} al reacțiilor chimice și Q_{10} al reacțiilor fotochimice, rezultă că în fenomenul fotosintezei au loc atît reacții chimice, cît și fotochimice. În acest fenomen au loc și unele fenomene fizice, ca de exemplu difuziunea CO_2 în frunze, adsorbția sa de cloroplaste, etc., cari deasemenea sînt puțin influențate de variația temperaturii.

Coeficientul temperaturii (Q_{10}) al fotosintezei la unele plante

Tabel nr. 15.

Planta	Intervalul temperaturii				
	0°—10°	5°—15°	10°—20°	15°—25°	20°—30°
Castravete	2,4	5,0	3,9	2,1	1,6
Tomate	—	6,4	2,9	1,9	1,6
Clorella	4,9	—	2,1	2,1	1,6
Usnea	2.7	1,3	1,0	0,7	0,4
Hya ocomium (mușchi)	1,6	1,3	1,1	0.9	0,7

R. Willstatter și A. Stoll au găsit că la frunzele verzi, Q_{10} are valori mai mari ca la frunzele gălbui (aurii), ale aceleeaș specii. La frunzele verzi, fotosinteza e influențată mai puternic de temperatură, iar la cele gălbui, de intensitatea luminii.

Aceste fapte, cercetătorii amintiți, le explică printr-aceea că frunzele verzi absorb lumina în cantitate relativ mare, iar intensitatea fotosintezei lor e limitată de alți factori, între cari și de temperatură, care acționează asupra protoplasmei. Frunzele gălbui, avînd pigmenți clorofilieni în cantitate mică, au intensitatea fotosintezei influențată mai ales de intensitatea luminii, pe care acestea o absorb în cantitate mică.

Intensitatea fotosintezei și cantitatea de apă din țesuturi

Apa intervine direct în fenomenul fotosintezei, alături de CO_2. Frunzele au însă nevoie de cantități cu mult mai mari de apă pentru îndeplinirea în condiții bune a acestui fenomen. Apa e necesară la întreținerea unei transpirații intense, care are loc în timpul fotosintezei, deoarece trebue eliminată o cantitate mare de căldură, provenită mai ales dela faptul că în conformitate cu principiul al doilea al termodinamicii, numai o parte din energia luminii absorbite e transformată în fenomenul fotosintezei în energie chimică, cea mai mare parte pierzîndu-se sub formă de căldură. Apa e necesară și la întreținerea stării normale a celulelor organelor asimilatoare, a protoplasmei, a biocoloizilor și a enzimelor. Influența cantității de apă asupra fotosintezei, se cercetează cel mai bine la mușchi,

și la licheni, cari pot să suporte o deshidratare completă. Graficul din *fig. 91* reprezintă intensitatea fotosintezei la mușchiuzl Hyaloconium pro-

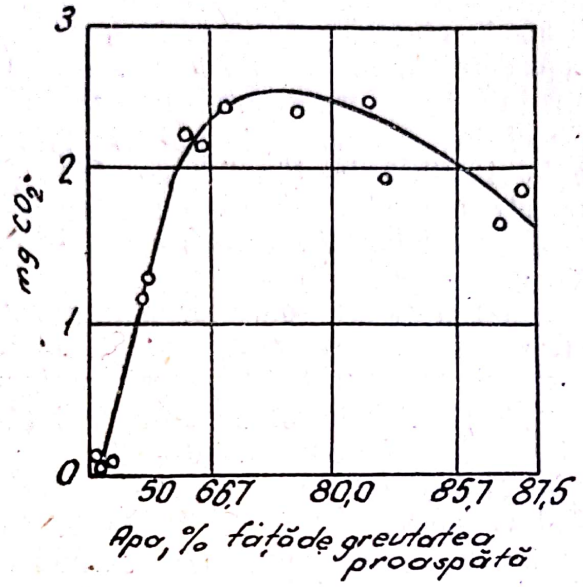


Fig. 91. Influența cantității de apă din țesuturile mușchiului Hyalocomium proliferum asupra intensității fotosintezei. la temperatnra de 19°C. și la iluminarea de 8000 lux (după B. A. Rubin 1954).

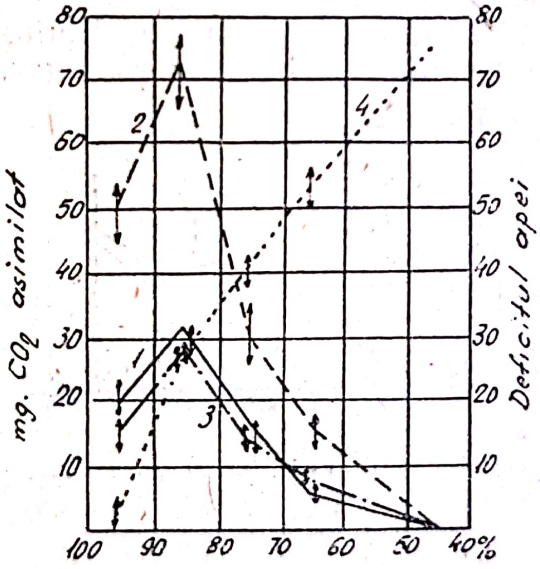


Fig. 92. Influența cantității de apă asupra intensității fotosintezei frunzei. Pe abscisă— greutatea proaspătă a frunzelor în % față de greutatea proaspătă a frunzelor saturate cu apă. Pe ordonată, în stinga— intensitatea fotosintezei, 1— exprimată la unitatea de suprafață a frunzei ; 2— la unitatea de greutate uscată, 3— la unitate de greutate proaspătă, 4— deficitul apei, în procente față de rezerva inițială de apă a frunzelor. In partea dreaptă a ordonatei deficitul apei în procente față de rezerva inițială de apă a frunzelor (după Alexeev).

liferum în funcție de cantitatea apei din țesuturi. Mușchiul în stare uscată nu asimilează deloc CO_2. Fotosinteza crește proporțional cu conținutul

în apă pînă ce aceasta reprezintă 70% din greutatea proaspătă. Peste această cantitate de apă, intensitatea fotosintezei scade puțin probabil din cauza greutății de difuziune a gazelor, în urma micșorării spațiilor intercelulare. La frunzele plantelor aeriene, intensitatea fotosintezei scade relativ repede cu pierderea unui exces de apă. Așa de exemplu frunzele de floarea soarelui în stare turgescentă, asimilează 16,1 mg. CO_2 pe dm.²/oră. Cele puțin ofilite, asimilează numai 8,5 mg., cele puternic ofilite numai 5,3 iar cele total ofilite de-abia 1,6 mg. CO_2. Scăderea intensității fotosintezei la frunzele plantelor ofilite, nu poate fi pusă în legătură numai cu închiderea stomatelor, deoarece ea are loc și la frunze lipsite de stomate. Așa de ex. la plantele submerse se poate provoca o deshidratare a țesuturilor cu ajutorul soluțiilor concentrate de zaharoză. Și în acest caz, are loc o scădere puternică a intensității fotosintezei. V. A. Brilliant a arătat că pentru fotosinteză optimul este atunci cînd frunzele sînt fie complect saturate cu apă, fie cînd ele au un deficit neînsemnat de apă. Un deficit de apă de 10—11%, scade simțitor intensitatea fotosintezei, iar un deficit de 20%, scade foarte mult intensitatea fotosintezei. Deficitul de apă al frunzelor, acționează neegal asupra diferitelor tipuri de plante. Așa de ex. xerofitele continuă asimilația CO_2 chiar la un deficit relativ mare al umidității, în timp ce mezofitele și mai ales hidrofitele se resimt cu mult mai mult. M. Alexeev (1935, 1941) a arătat că la frunzele de măr intensitatea fotosintezei e maximă la un deficit de apă de aproximativ 13%, cum se vede în *fig. 92.* S. V. Tageeva a arătat că intensitatea fotosintezei la soia e mai mică pe un sol cu umiditatea de 50%. În acest din urmă caz în timpul prînzului plantele nu asimilează deloc CO_2, ci ele pun în libertate acest gaz, în fenomenul respirației, *fig. 97.*

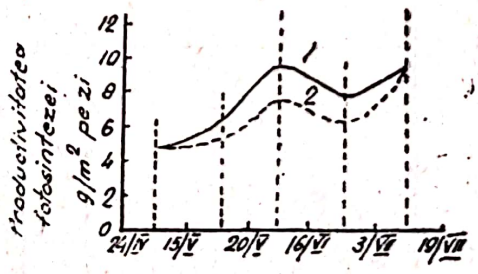


Fig. 93. Productivitatea frunzelor de ovăz irigat 1, și neirigat 2, (după A. N. Beghișev).

A. N. Beghișev a arătat că ovăzul irigat are o productivitate a fotosintezei mai mare decît cel neirigat *fig. 93.*

Fig. 94, arată relația între intensitatea fotosintezei A, intensitatea transpirației B., folosirea energiei de lumină C și coeficientul transpirației G, în funcție de intensitatea luminii. Intensitatea transpirației crește direct proporțional cu intensitatea luminii, în timp ce intensitatea fotosintezei decurge după o curbă logaritmică, ajungînd la saturație. Din această cauză, energia luminii e folosită într-un procent mai mare în fenomenul fotosintezei, la intensități mici de lumină. Coeficientul economic al transpirației, este mai mic la intensități slabe de lumină, la acestea el

fiind cuprins în jurul a 200, în timp ce la intensități mari de lumină el crește la 700.

Deși în fotosinteză lumina de intensitate slabă e folosită într-un procent cu mult mai mare, 3—5%, iar lumina intensă e folosită într-un procent cu mult mai mic, 0,5—1%, totuși în practica agricolă nu se pot aplica măsuri agrotehnice, pentru a scădea intensitatea transpirației prin

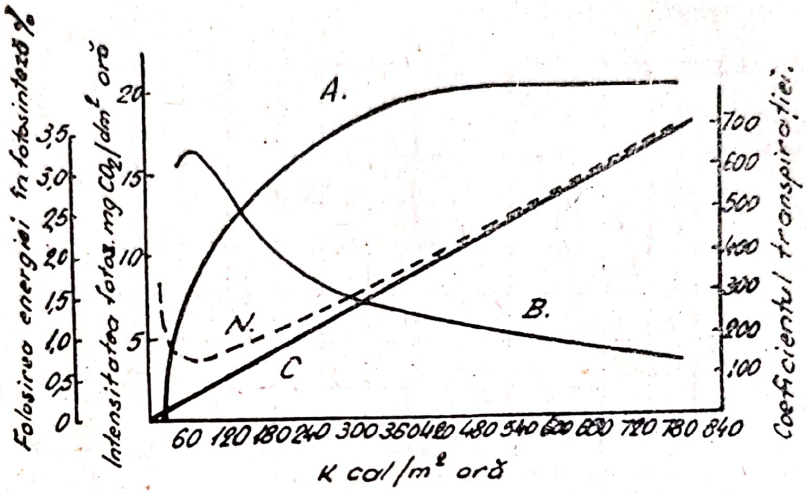


Fig. 94. Intensitatea fotosintezei (A), lumina folosită în fotosinteză în % (B), intensitatea transpirației (C) și coeficientul transpirației D față de intensitatea radiației totale.
(după A. A. Niciporovici)

scăderea intensității luminii, de ex. printr-o desime mai mare a semănăturilor, deoarece prin astfel de procedee, intensitatea fotosintezei nu ajunge la gradul de saturație, ceea ce duce la scăderi de recoltă.

Intensitatea fotosintezei în decursul zilei

Metoda de cercetare potrivită e aceea a curentului de aer. De obicei se determină intensitatea fotosintezei la una și aceeași frunză nedesprinsă de plantă. Curentul de aer trebuie să fie deajuns de puternic ca frunza să aibă suficient CO_2, dar nu e permis să fie prea puternic, căci atunci frunza transpiră prea intens, ceea ce provoacă închiderea stomatelor. E mai bine dacă măsurătorile se fac din oră în oră, scoțîndu-se între determinări frunza din aparat.

Asimilația clorofiliană începe dimineața de vreme, odată cu primele raze ale luminii. Ea crește repede în intensitate cam pînă spre ora 11-12 și apoi scade treptat pînă seara. Dimineața intensitatea fenomenului, crește sub influența creșterii intensității luminii, a deschiderii stomatelor și a ridicării temperaturii. După masă intensitatea fenomenului scade, căci scade și intensitatea luminii. Cloroplastele sînt încărcate cu substanță organică sintetizată, care jenează în parte fotosinteza. Un mers atît de regulat al fenomenului s-a obținut la plantele submerse de J. Ch. Bose și de S. P. Kostîcev și Soldatenkov, iar la plantele din umbră, de N. Sălăgeanu, *fig. 95.*

La plantele din plin soare, fotosinteza în decursul zilei decurge de obicei neregulat, cu atît mai neregulat cu cît aerul e mai uscat și temperatura mai ridicată. În regiunile aride din U.R.S.S., de ex. în jurul Mării Negre, S. P. Kostîcev și colaboratorii săi au constatat chiar valori negative ale fotosintezei, adică în anumite intervale de timp din decursul zilei, frunzele pun în libertate CO_2. Punerea în libertate a CO_2 se face în arșița puternică a soarelui, cînd din cauza temperaturii ridicate, respirația depășește fotosinteza.

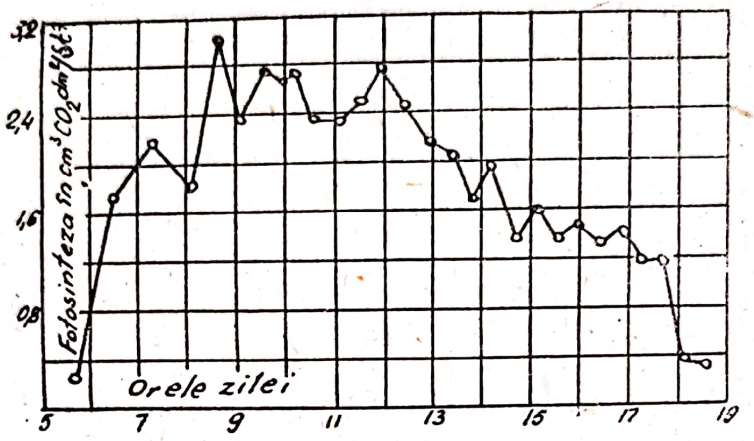


Fig. 95. Mersul intensității fotosintezei în decursul zilei la umbră (după N. Sălăgeanu).

Mersul fotosintezei în decursul zilei în regiunile polare, a fost studiat de S. P. Kostîcev și colaboratorii săi. El se caracterizează prin aceea că are loc și în timpul nopții, în aceste regiuni nopțile polare avînd o lumină crepusculară suficient de intensă. Mersul fenomenului în decurs de 24 ore este relativ regulat, factorii externi ca intensitatea luminii, uscăciunea aerului și temperatura fiind moderați. Din cauză că fotosinteza nu e întreruptă în timpul nopții, plantele lucrează economic și se pot dezvolta extrem de repede. Acest fapt e important, permițînd cultura plantelor în regiunile polare.

În decursul zilei, fotosinteza e influențată de diferiți factori, externi și interni. Dimineața, au o acțiune favorabilă, intensitatea luminii precum și temperatura în curs de creștere. Mai tîrziu, acumularea în frunze a produselor asimilate, creșterea deficitului de apă a frunzelor precum și uneori ridicarea excesivă a temperaturii, pot fi cauze ale inhibării fenomenului. Toți acești factori fac ca intensitatea fotosintezei în decursul zilei să nu decurgă atît de regulat cum ar rezulta dintr-un calcul al ei în care se ia în considerare exclusiv transformarea energiei de lumină, în energie chimică. Un astfel de calcul e reprezentat în *fig. 96*. El ne arată un mers simetric al fotosintezei în cele două jumătăți ale zilei. Adeseori mersul fotosintezei în decursul zilei la frunzele plantelor aeriene din plin soare, prezintă o valoare maximă înainte de masă, al doilea maxim după masă, și un minim în dreptul mijlocului zilei, cum se vede în *figurile 97, 98 și 99*. Depresiunea fotosintezei de la prînz, se datorește mai ales deficitului de apă al frunzelor, care la rîndul său provoacă o închidere a stomatelor. Prin umbrirea frunzelor plantelor din plin soare, mersul fotosintezei devine mai regulat, iar depresiunea

de la prînz dispare, *fig. 100,* cum a arătat A. A. Niciporovici la frunzele de bumbac și de ricin.

La frunzele din plin soare, se observă de obicei la mijlocul zilei o depresiune a intensității fotosintezei, studiată de E. F. Votceal, A. S.

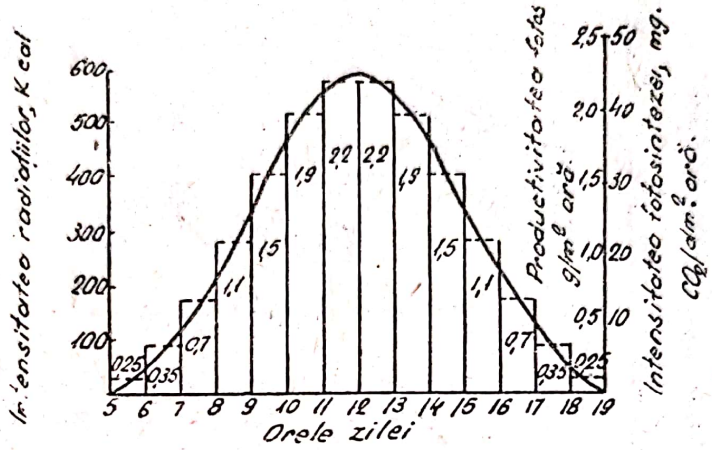


Fig. 96. Intensitatea radiațiilor și productivitatea posibilă a fotosintezei în decursul zilei. S-a presupus că în fotosinteză se folosește 2% din energia radiațiilor totale sau 4% din radiațiile de lumină. Curba reprezintă intensitatea radiațiilor, iar linia punctată intensitatea fotosintezei și productivitatea fotosintezei (după Niciporovici 1955).

Okanenko, Tolmacev, Kekuha, Brilliant, Kostîcev, A. L. Kursanov și alții. Această depresiune, Brilliant și A. L. Kursanov o pun în legătură

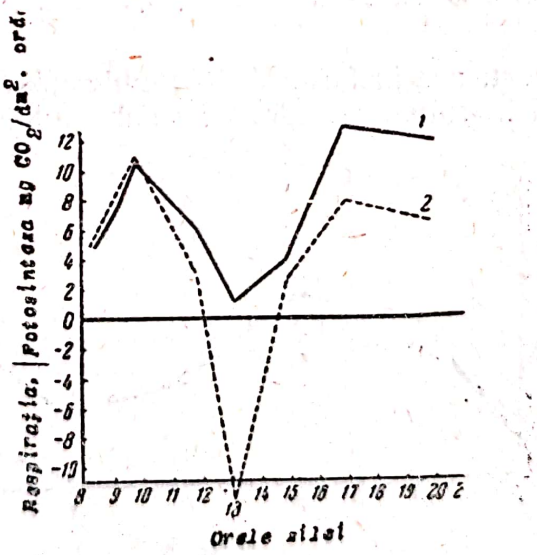


Fig. 97. Mersul zilnic al fotosintezei, la Soia cultivată: 1—pe un sol cu umiditatea 80% și 2—pe un sol cu umiditatec 50% (după S. V. Tageeva).

cu acumularea glucidelor în cloroplaste, cari jenează fotosinteza. V. V. Sapojnikov, a arătat încă în secolul trecut că asimilatele acumulate în cantitate mare în frunze sînt o frînă în formarea de noi substanțe organice

în fenomenul fotosintezei. A. L. Kursanov, injectînd soluții de monozaharide în peţiolul frunzelor sfeclei de zahăr, a provocat o depresiune a fotosintezei prin împiedicarea conducerii substanţelor organice din frunze. Acelaşi efect l-a obţinut la frunzele de măr de pe o ramură la

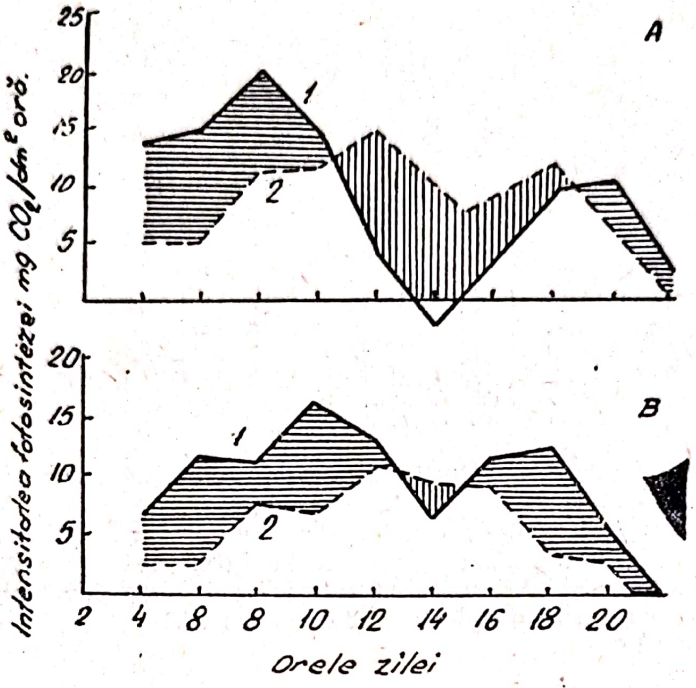


Fig. 98. Mersul zilnic al fotosintezei la sfeclă cu frunze de culoare verde închisă 1, şi de culoare verde deschisă 2. A—zi însorită, B—zi înorată (după A. S. Okanenko).

care a făcut o decorticare inelară. V. N. Liubimenko şi Matkova, au arătat de asemenea rolul însemnat pe care-l au substanţele acumulate în frunze,

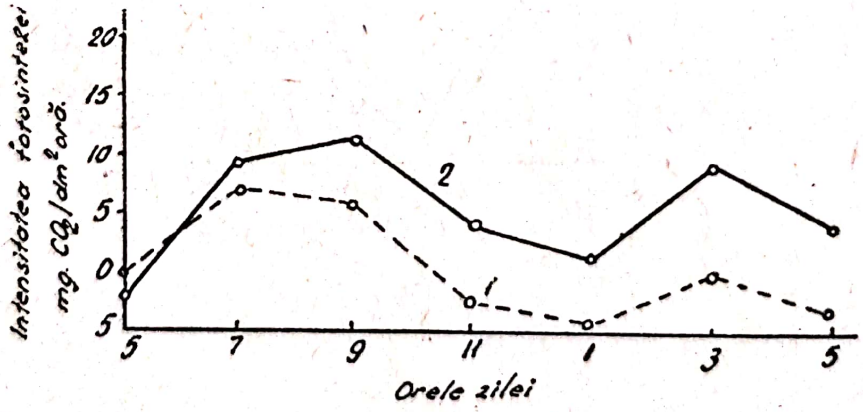


Fig. 99. Influenţa inelării unei ramuri de măr, asupra intensităţii fotosintezei frunzelor. 1 — ramură inelată deasupra şi sub inserţia frunzelor şi 2—ramură neinelată, de control (după A. L. Kursanov 1939).

în frînarea procesului fotosintezei. Favorizînd conducerea substanţelor organice din frunzele sfeclei de zahăr prin ţinerea lor ritmică timp de 2 ore la lumină şi apoi 2 ore la întuneric, ei au provocat o creştere

a intensității fotosintezei cu 50%, față de frunzele care erau ținute 12 ore la lumină și 12 ore la întuneric. În primul caz, e asigurată o mai bună conducere a substanțelor organice din frunze.

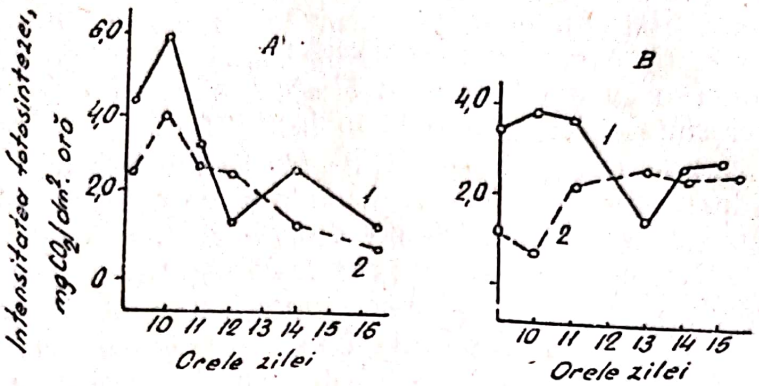


Fig. 100. Mersul zilnic al fotosintezei frunzelor de bumbac A, și de ricin B, neumbrite 1 și umbrite 2 (după Niciporovici 1955).

A. A. Grecihina a arătat că la frunzele la care substanța organică produsă în fotosinteză constă mai ales din amidon, cum e de ex. cazul

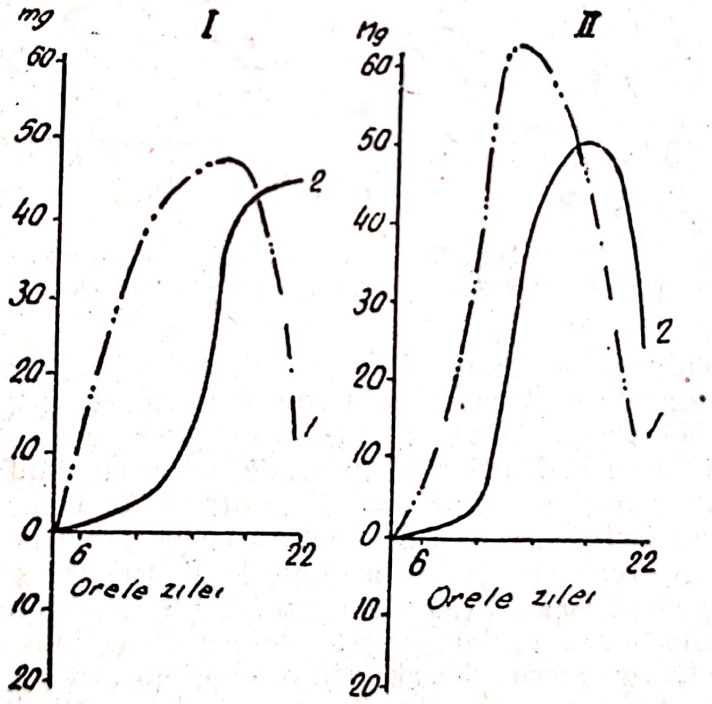


Fig. 101. Intensitatea fotosintezei și transportul glucidelor din frunze în mg. glucoză la 1 dm². în timp de 4 ore. La floarea soarelui I și la porumb II. 1—asimilația CO_2, 2—transportul glucidelor (După Greciuhina).

la floarea soarelui, *fig. 101*, aceasta frînează mai puțin intensitatea fotosintezei, ea provocînd numai o slabă mărire a presiunii osmotice a sucului vacuolar al celulelor.

Scanned with OKEN Scanner

Graficul 1 din *fig. 71* arată un mers relativ regulat al fotosintezei, deși conducerea amidonului din frunze se face cu oarecare întîrziere. La frunzele de porumb, substanțele asimilate, se acumulează mai ales sub formă de glucide solubile. Acestea ar provoca o frînare mai accentuată a intensității fotosintezei prin mărirea presiunii osmotice a sucului vacuolar. În mod normal însă la astfel de frunze glucidele asimilate sînt conduse cu o viteză relativ mare, al cărei mers e paralel cu intensitatea fotosintezei, cum se vede în *fig. 101, II.*

Așa cum arată A. S. Okanenko, A. M. Kekuha și I. M. Tolmacova, mersul fotosintezei în decursul zilei, depinde și de cantitatea clorofilei din frunze. Așa cum se vede din graficele din *fig. 102,* la frunzele sfeclei de zahăr, colorate în verde închis și prin urmare bogate în pigmenți clorofilieni, în zilele înorate, fotosinteza decurge mai intens ca la frunzele sfeclei de zahăr de culoare deschisă și prin urmare, cu un conținut mai mic de pigmenți clorofilieni. În astfel de cazuri, are loc numai o slabă depresiune a intensității fotosintezei, la mijlocul zilei, *fig. 102 B.* În regiunile înorate, sînt mai productive soiurile de sfeclă de zahăr cu

Fig. 102. intensitatea fotosintezei, A— într-o zi senină călduroasă și B— într-o zi înorată. 1— frunze de culoare verde închisă, 2— frunze de culoare verde deschisă.

frunzele de culoare verde închisă. În zilele senine, depresiunea intensității fotosintezei la mijlocul zilei la frunzele colorate în verde este foarte puternică, mergînd pînă la valori negative, cum se vede în *fig. 102 A,* în timp ce la frunzele slab colorate în verde, ea e cu mult mai mică. Depresiunea mai mare a intensității fotosintezei la frunzele cu conținut mare în pigmenți clorofilieni, e în legătură cu absorbia unei cantități prea mari de lumină, care provoacă acțiuni de distrugere asupra enzimelor sau asupra protoplasmei. Frunzele cu un conținut mai mic de pigmenți clorofilieni, sînt ferite în bună parte de aceste acțiuni de distrugere a luminii intense, deoarece ele absorb o cantitate mai mică de lumină. Dimineața și spre seară, cînd lumina e mai slabă, asimilează mai intens frunzele sfeclei de zahăr de culoare verde închisă decît cele de culoare verde deschisă, deoarece primele absorb și folosesc mai bine lumina slabă. În zilele senine, producția globală a fotosintezei e mai mare la frunzele sfeclei de zahăr de culoare verde deschisă ca la cele de culoare verde închisă. Din această cauză, în regiuni cu lumină puternică, se recomandă cultura soiurilor sfeclei de zahăr cu frunzele de culoare verde deschisă. Așa cum se vede, din cele de mai sus, mersul fotosintezei în decursul zilei deobicei nu poate if pus în legătură cu variația unui singur

factor. Fenomenul decurge ca o rezultantă a mai multor factori externi și interni, la care se adaugă și ritmicitatea frunzelor, precum și acțiunea factorilor ereditari.

P. P. Stănescu și colaboratorii săi I. Gr. Mihăilescu, A. Aronescu și L. Juracec, au arătat că acumularea amidonului și glucidelor solubile în frunze, decurge deobicei în mod neregulat, prezentînd mai multe maxime și minime în decursul unei zile.

Faptele acestea au fost stabilite atît cu proba cu iod a lui J. Sachs cît și prin analize chimice.

N. M. Cernavskaia, studiind intensitatea fotosintezei plantelor de dovleac a arătat că în prima săptămînă de la răsărire, ele lucrează cu un bilanț negativ, fotosinteza nedepășind punctul de compensație. În următoarele două săptămîni, fotosinteza crește în intensitate, pe măsura în care se dezvoltă frunzele, cum se vede în *fig. 103.*

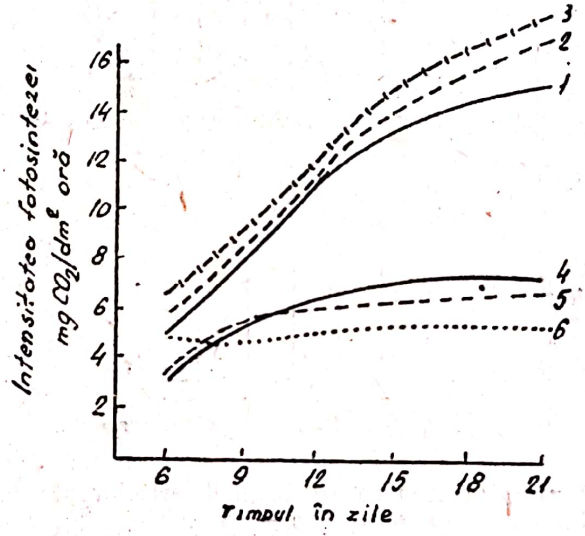


Fig. 103. Intensitatea fotosintezei frunzelor de dovleac la diferite intensități de lumină, cultivate pe un sol cu doze diferite de îngrășămînt azotat (după N. N. Cernavskaia).

În genere, în decursul vieții plantelor, fotosinteza începe cu un mers ascendent care ajunge relativ repede la o valoare maximă, menținîndu-se la aceasta pînă spre sfîrșitul vieții plantei, cînd se observă o scădere relativ bruscă. Această scădere corespunde cu îmbătrînirea frunzelor și cu îngălbenirea lor. Un astfel de mers al fotosintezei, se observă în *fig. 104,* obținut de A. M. Beghișev la floarea soarelui. La această plantă, valoarea maximă corespunde cu perioada formării mugurilor florali și cu înflorirea. La sorg valoarea maximă a fotosintezei precede înflorirea, în decursul căreia are loc un minim al fotosintezei, cum se vede în *fig. 104.* La soia intensitatea maximă a fotosintezei, corespunde cu epoca formării frunzelor, iar valoarea minimă are loc mult mai tîrziu, în decursul formării boabelor cum se vede în *fig. 104 a.* V. M. Katunski, a obținut o valoare minimă a fotosintezei frunzelor în decursul înfloririi plantelor.

Blakman a arătat că în genere, intensitatea fotosintezei în decursul perioadei de vegetație, depinde în mare măsură de valoarea medie zil-

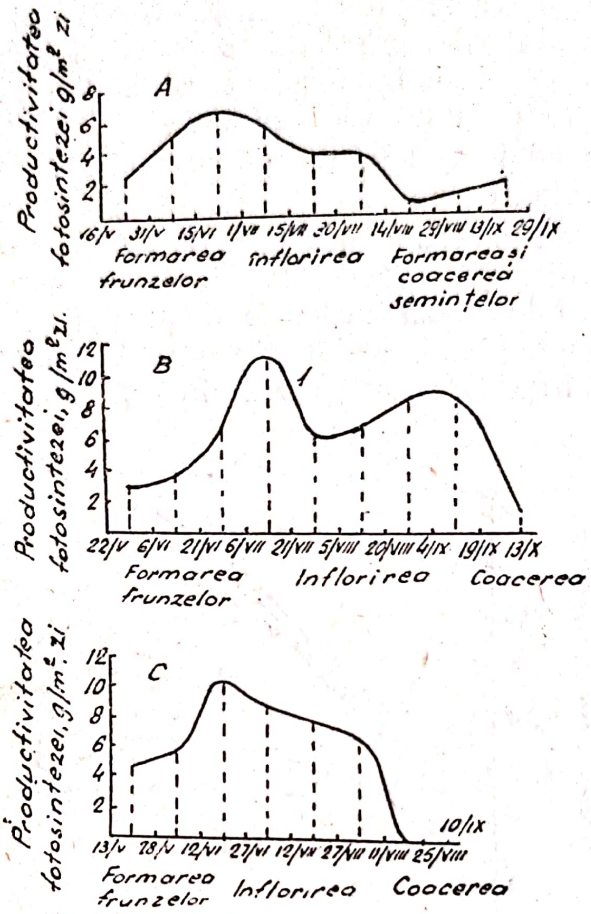


Fig. 104. Productivitatea fotosintezei diferitelor plante, în decursul perioadei de vegetație, a— soia, b— sorg, c— floarea soarelui (după A. N. Beghișev).

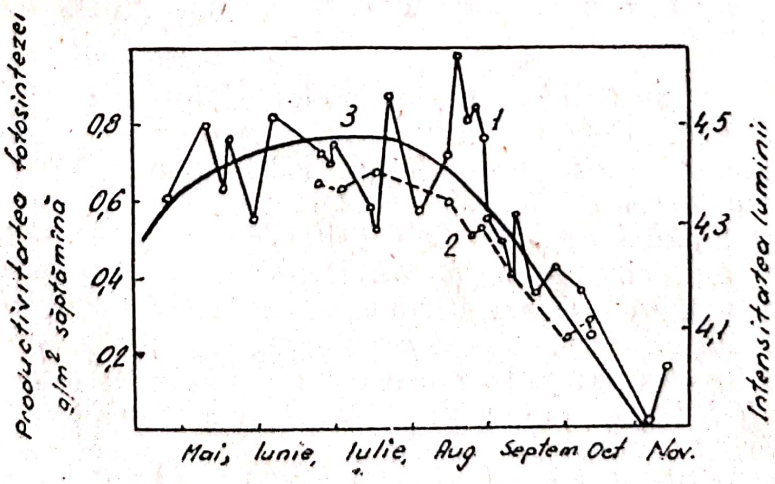


Fig. 105. Productivitatea fotosintezei la floarea soarelui 1, și la mușțar 2, calculată după intensitatea zilnică medie a luminii (după Blakman).

nică a intensității luminii, cum arată experiențele cu floarea soarelui (1) și cu muștarul (2), din *fig. 105.*

La cele mai multe plante, optimul fotosintezei corespunde cu mijlocul perioadei de vegetație.

În genere, mersul fotosintezei în decursul perioadei de vegetație depinde atît de factori externi cît și de factori interni.

Intensitatea fotosintezei la diferite specii de plante

Unele plante au viață scurtă, de numai 30-40 zile, fiind denumite din această cauză „efemeroide". Ele ajung la o talie mică de 5-10 cm., și acumulează în decursul întregii lor vieți, între 0,25-0,5 gr. substanță uscată. Alte plante au viață lungă, depășind 1000 ani, cum sînt numeroși copaci mari ca Sequoia, Tisa, Stejarul și altele. Acestea acumulează în corpul lor prin fenomenul fotosintezei, o cantitate enormă de substanțe organice. Unele plante cresc foarte repede, ca de ex. bumbacul. Altele cresc încet, ca de ex. stejarul. S-ar părea că intensitatea fotosintezei decurge foarte neegal la aceste tipuri diferite de plante. Experiențele efectuate, au arătat însă că intensitatea fotosintezei decurge relativ constant la suprafața egală a frunzelor diferitelor specii. Diferențele mari între diferitele specii de plante, se datoresc mai ales suprafeței neegale a frunzelor, precum și duratei neegale a vieții lor. În genere, frunzele plantelor asimilează CO_2 cu intensitate medie de 10-20 mg. CO_2/dm^2 oră. Avînd un număr al asimilației de 3-5 mg. CO_2 la 1 mg. clorofilă oră. La 1 m^2 de frunză corespunde în medie la diferite tipuri de plante o acumulare de 3—10 gr. substanță organică pe zi.

Se cunosc unele cazuri de abateri de la valorile medii ale intensității fotosintezei la diferite specii de plante. Valori scăzute ale intensității fotosintezei cuprinse între 3-5 mg. CO_2/dm^2 oră, găsim la plantele suculente, ca de ex. la cactuși. Ele se explică prin difuzia încetinită a CO_2 în frunzele relativ groase cu spații intercelulare mici. Unele plante, ca floarea soarelui și coc-sacîzul, se caracterizează printr-o intensitate relativ mare a fotosintezei. Astfel de plante provin din regiuni sudice cu climat mai arid și cu lumină puternică. La ele adeseori se observă unele adaptări xeromorfe, precum și posibilitatea reducerii mai intense a CO_2. De aceea la astfel de plante găsim adeseori ca substanțe de rezervă lipide și uneori ele conțin cantități mari de cauciuc, substanțe eterice etc.

O activitate relativ intensă a fotosintezei, are loc și la plantele de la altitudini mari. Și la acestea, se acumulează adeseori lipide, cauciuc, substanțe eterice, alcaloizi etc.

Relația dintre fotosinteză și respirație

Fotosinteza este în legătură strînsă cu celelalte fenomene fiziologice ale plantelor și mai ales cu metabolismul. Numeroși cercetători au stabilit un paralelism între fotosinteză și respirație. Astfel intensitatea fotosintezei și a respirației e mai mare la frunzele crescute la lumină intensă, decît în cele crescute la umbră, cum a arătat P. Boysse-Jensen la frunzele de fag și de frasin. Legătura strînsă dintre cele două fenomene se explică între altele prin participarea unor fermenți comuni precum și

Scanned with OKEN Scanner

prin produsele intermediare și finale comune. De aici însă nu rezultă că fotosinteza nu este altceva decît un fenomen invers al respirației.

Unele substanțe chimice au aceeași acțiune de inhibare asupra ambelor fenomene.

De obicei intensitatea respirației frunzelor reprezintă 0,5-2 mg. CO_2 dm^2 oră, iar intensitatea fotosintezei 12-20 mg. CO_2/dm^2 oră. De aici se calculează relația dintre cele două fenomene adică : $\frac{\text{fotosinteza}}{\text{respirație}}$ — 10-20. La planta luată în întregime, acest raport se micșorează deoarece se adaugă numeroase organe ca rădăcina, țesăturile adînci ale tulpinii, ale fructelor, cari nu sînt capabile de îndeplinirea fotosintezei, în timp ce respirația lor are loc, atît ziua cît și noaptea. La astfel de plante luate în întregime, raportul între fotosinteză și respirație este de 4-6 și în condițiile neprielnice chiar între 2 și 3.

Sînt și unele cazuri mai rare, în cari frunzele nu asimilează CO_2 la lumină, ci dimpotrivă ele degajează acest gaz în aerul înconjurător. Un astfel de fenomen are loc la frunzele plantelor din regiunile aride, care la mijlocul zilei, din cauza deficitului mare de apă și a temperaturii ridicate a frunzelor, fotosinteza încetează complect, în timp ce respirația decurge intens. Pe timp secetos, plantele luate în întregime pierd din greutatea uscată din cauza încetinirii fenomenului fotosintezei, pe cîtă vreme respirația mai are loc.

PIGMENȚII DIN CLOROPASTE

Organele asimilației clorofilene

La plantele superioare asimilația clorofiliană are loc mai ales în frunze, adaptate acestei funcțiuni, prin forma lor turtită și prin suprafața lor prevăzută cu numeroase stomate. CO_2 din aer pătrunde în frunze și ajunge la celulele asimilatoare prin numeroasele spații intercelulare. Poziția frunzelor e de obicei orizontală și structura dorsiventrală. Spre fața superioară stă țesutul palisadic adevăratul țesut asimilator, care constă din celule alungite așezate perpendicular pe fața dorsală a frunzei și care conțin multe cloroplaste. Pe fața inferioară se găsește țesutul lacunar sau spongios cu spații intercelulare mari. Prin fascicolele conducătoare din nervuri, celulele asimilatoare sînt aprovizionate cu apă și tot prin ele sînt conduse substanțele organice produse.

Țesutul verde din ramuri tinere, semințe și fructe tinere constă din mai multe straturi de celule parenchimatoase cu cloroplaste, dispuse sub epidermă. Spațiile intercelulare sînt mici și aceste organe absorb puțin CO_2 din aerul înconjurător, de abia putînd asimila CO_2 rezultat

din respirație. Această asimilație clorofiliană se poate denumi „de economie". Cloroplastele sînt de obicei colorate în verde. Numărul lor într-o celulă variază. Unele alge ca de ex. Mesocarpus și Spirogyra au cîte un singur cloroplast în celulă, care e turtit și drept la Mesocarpus sau spiralat la Spirogyra. Plantele superioare au de obicei numeroase cloroplaste în celule, de formă sferică, discoidală sau ovoidală. În general celulele epidermice nu au cloroplaste.

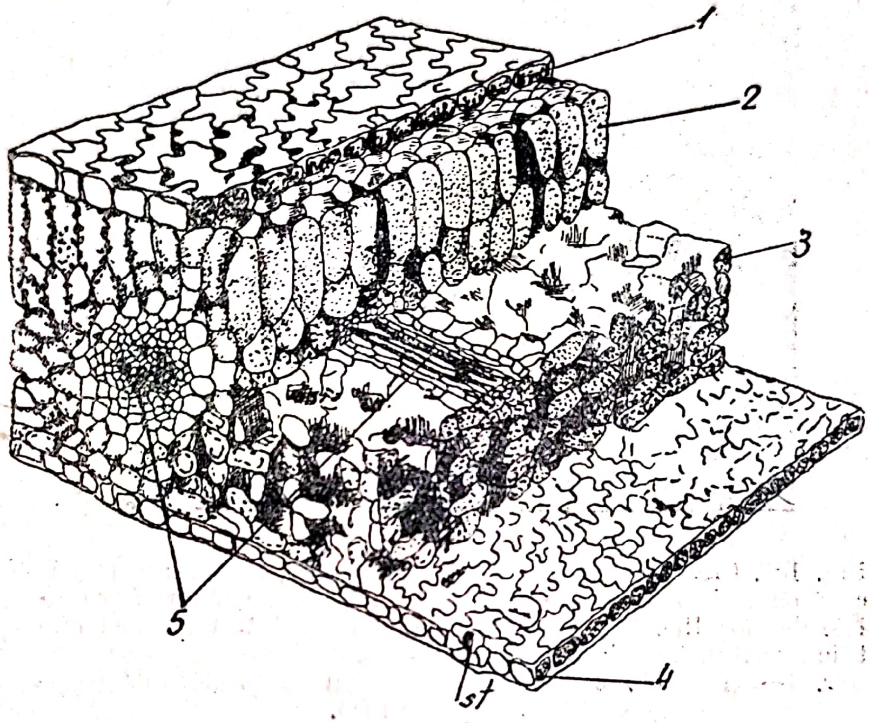


Fig. 106. Secține transversală prin frunză. 1— epiderma superioară; 2— țesut palisadic 3— strat lacunar; 4— epiderma inferioară cu stomate st; 5— fascicol conducător libero-lemnos.

Cloroplastele sînt alcătuite dintr-o stromă incoloră în care se găsește clorofila. Extrăgînd clorofila, rămîne stroma incoloră care conține mult Fe ce se pune în evidență prin reacții microchimice. Fluorescența cloroplastelor pledează pentru starea de soluție adevărată și anume clorofila s-ar găsi dizolvată în lipoizi.

Structura cloroplastelor.

K. A. Timiriazev a formulat în 1903, structura eterogenă a cloroplastelor în care clorofila ar fi dispusă sub forma unor granule mici, la suprafața lor. În zilele noastre s-a dovedit cu ajutorul microscopului electronic, această ipoteză genială a lui K. A. Timiriazev. Microscopul electronic arată stroma incoloră, în care sînt dispuse numeroase granule de clorofilă, mai mult sau mai puțin regulate. fig. 107.

Într-un cloroplast izolat din frunzele de spanac, S. Granick și Parter (1947), au pus în evidență 40-60 granule fig. 108. Granulele au dimen-

siuni de aproximativ 25 m μ în diametru, cu variații individuale destul de mari. În interiorul granulelor s-au pus în evidență un număr mare

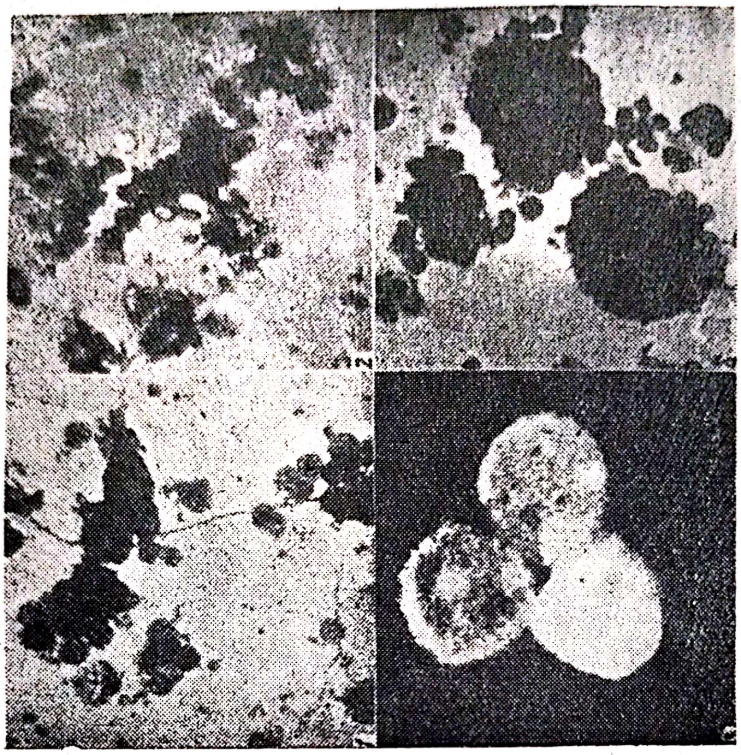


Fig. 107. Cloroplaste din frunse de spanac, examinate la microscopul electronic. 1— cloroplaste izolate, se observă granulele de clorofilă. 2— cloroplaste izolate tratate cu alcool metilic absolut. 3— cloroplaste după după tratarea cu o sare de aur. 4— grupă de cloroplaste cu granulele de clorofilă (după B. A. Rubin) 1954.

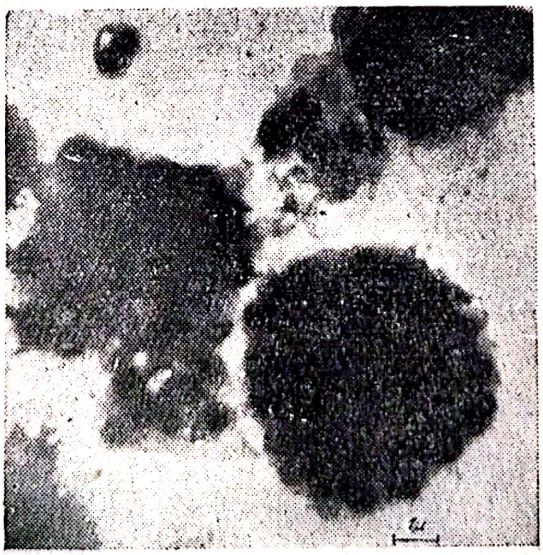


Fig. 108. Granule din clorolaste izolate din frunze de spanac (după Granick și Parter 1947)

de discuri. La granulele cloroplastelor de Beta saccharifera, Leyon (1953), a găsit între 15 și 60 discuri, cu diametrul cuprins între 0,3 și 0,6 m μ.

Scanned with OKEN Scanner

In granulele cloroplastelor frunzelor de tutun, Palade (1952), a pus în evidență învelișul cloroplastelor, granulele și discurile în interiorul granulelor, la preparate tratate cu acid osmic fig. 109.

Fig. 109. Cloroplaste de tutun. cm—membrana cloroplastului, g— granule la care se văd discurile (după Palade 1952).

Von Wettstein (1955) a arătat la granulele cloroplastelor frunzelor de Hordeum distichum, că discurile se continuă în parte prin stromă,

Fig. 110. Granule mărite puternic. Se văd discurile granulului, precum și moleculele care alcătuiesc discurile. (după V. Wettstein 1955).

la granulele vecine, fig. 110. Discurile au aproximativ 30 A^0 în grosime. In fotografiile făcute de acest cercetător, la microscopul electronic, apar în mod clar mouleculele cari alcătuiesc discurile.

La mai multe alge, spre deosebire de plantele superioare, cloroplastul e format dintr-un singur granul adică cloroplastul e format din numeroase discuri paralele mai dense, fiind separate între ele de material mai puțin dens. Așa de ex. la cloroplastele celulei ou de la Fucus vesiculosus, fig. 111, Leyon și von Wettstein (1952), au pus în evidență mai multe lamele cari străbat cloroplastul de la un capăt la altul.

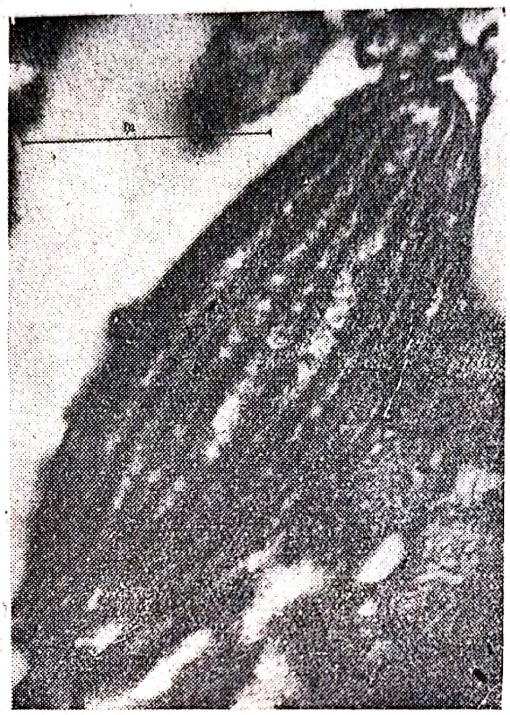


Fig. 111. Cloroplastul brun din celula de Fucus vesiculosus (după Leyon și V. Wettstein 1954).

Lamelele dense la rîndul lor, constau din 4 membrane (sau strate) mai fine. Cloroplastul lung de 1,4-3,3 m μ, conține 8-10 lamele. Lamele superficiale sînt paralele cu suprafața cloroplastului. La fiecare capăt al cloroplastului e cîte o „vacuolă" optică clară. Lamela este de 370-80 A groasă.

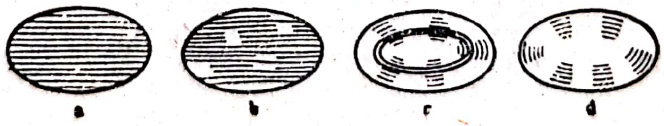


Fig. 112. Trecerea de la cloroplastul cu un singur granul, a și b, la cloroplastul cu granule incomplet separate, c, și complet separate d.

De la granulul unic din cloroplastul algelor, se poate trece la structura cu multe granule din cloroplastul plantelor superioare, prin întreruperile discurilor, mai întîi în regiuni mici, fig. 112 a, b și c, și apoi în regiuni mari ca în fig. 112 d.

Localizarea clorofilei în cloroplaste.

În granulele cloroplastelor plantelor superioare, clorofila e mai concentrată ca în stromă. La cloroplastele izolate din frunzele de tutun, clorofila e localizată exclusiv în granule (Stolkina 1952).

Thomas (1954), a arătat cu Ag NO_3, care e redus la lumină în prezența clorofilei în Ag metalic, că argintul metalic se depune numai în părțile proteice ale granulelor și nu se depune deloc în stromă. Aceste observații au fost efectuate cu microscopul electronic.

Concentrația clorofilei în cloroplaste e relativ mare, 0,016-0,1 m., cum rezultă din datele lui Wolken și Scheertz (1953).

Planta	Volumul cloroplastului în cm.	Molecule de clorofil în cloroplast	Concentrația clorofilei în moli la litru
Elodea densa	$2,8\times10^{-11}$	$1,7\times10^{9}$	0,1
Mnium	$4,1\times10^{-11}$	$1,6\times10^{9}$	0,065
Euglena gracilis	$6,6\times10^{-11}$	$1,02\times10^{9}$	0,025
Poteriochromonas stipitata	$1,1\times10^{-11}$	$0,11\times10^{9}$	0,016

Cu aceste calcule, autorii au arătat că în lamelele cloroplastelor de Euglena și de Poteriochromonas, ciclurile porfirinice ale clorofilei așezate lateral, formează un strat monomolecular, ocupînd întreaga suprafață a lamelei.

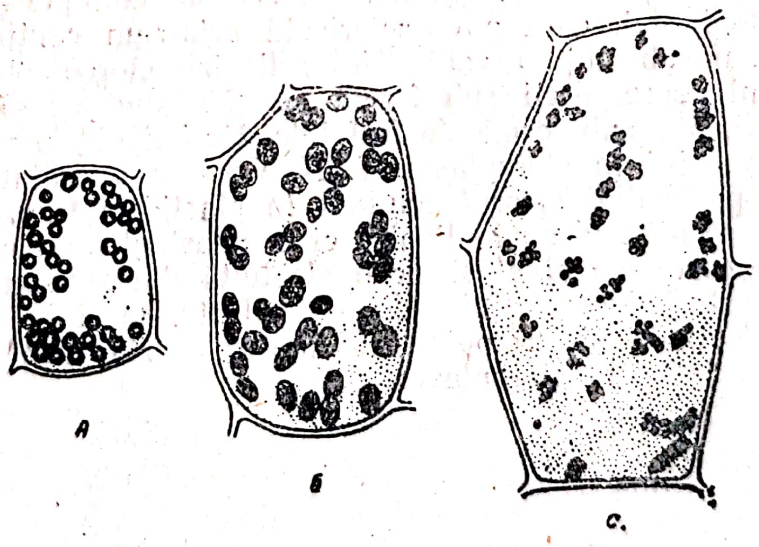


Fig. 113. Schimbarea cloroplastelor în decursul desvoltării frunzei. A— perioada creșterii intense a frunzei. B= frunza și-a terminat creșterea și are o culoare verde închisă. C— frunză bătrînă de culoare verde cenușie.

A. A. Tabențki (1947), a arătat că structura cloroplastelor nu e stabilă, ci ea se schimbă paralel cu dezvoltarea plantelor și a organelor sale. Aceste schimbări se realizează de însăși cloroplastele care sînt vii,

sub acțiunea diferiților factori externi, care intervin prin intermediul protoplasmei. Totodată se schimbă și mărimea și structura granulelor mici de clorofilă din cloroplaste. Aceste schimbări se fac sub acțiunea directă a stromei. În frunzele tinere, cloroplastele au granule mici, fig. 113 A. Cloroplastele frunzei adulte, conțin granule mai mari, fig. 113 B. Frunzele bătrîne conțin cloroplaste tot cu granule mari, însă la ele se observă o fragmentare a cloroplastelor, fig. 113 C.

Probabil cloroplastele au apărut tîrziu în regnul vegetal. În zilele noastre, organismele inferioare fotosintetizante ca bacteriile verzi și algele albastre, nu conțin deloc cloroplaste, la ele pigmenții fiind răspîndiți în mod difuz în protoplasmă. Celelalte grupe de plante fotosintetizante conțin toate cloroplaste. În privința formării cloroplastelor, mendeliștii sînt de părere că ele provin exclusiv din diviziunea altor cloroplaste preexistente, printr-un fel de autoreproducere. V. G. Alexandrov, a arătat că plastidele se formează în starea tînără a embrionului. A. A. Tabențki, a arătat de asemenea că granulele apar în procesul de separare a fazei proteice de faza lipoidică.

Compoziția chimică a cloroplastelor

Cloroplastele conțin 55%-70% apă și 30%-45% substanță uscată. Aceasta constă în parte din substanțe organice 90% și substanțe minerale aproximativ 10%. Printre substanțele organice găsim glucide a căror cantitate diferă după starea de funcțiune a cloroplastelor, ele acumulîndu-se în urma fotosintezei intense și cantitatea lor scăzînd în condițiile în care fotosinteza nu are loc, de ex. la întuneric.

Cloroplastele conțin cantități mari de lipoizi cari reprezintă 20%—40% din întreaga substanță uscată. În privința aceasta cloroplastele se deosebesc de protoplasmă, care e caracterizată printr-un conținut mic de lipoizi, 2-3% din substanța uscată. Dintre lipoizii cloroplastelor aproximativ 50% sînt reprezentați sub formă de substanțe grase, 20% sub formă de steroli, 5% sub formă de fosfatide. Fosfolipoidele se găsesc în cantitate relativ mică în cloroplaste. T. N. Godnev a arătat (1952) că cea mai mare parte din fosforul conținut în plastidele frunzelor de orz ovăz și salată, se găsește nu în lipoizi, ci în substanțele solubile în apă. Cea mai mare parte a cloroplastelor e alcătuită din substanțe proteice. Prin hidroliza substanțelor proteice din cloroplaste, se obțin aceiași aminoacizi cari alcătuesc și protoplasma. Analiza arată următoarea proporție a aminoacizilor în cloroplaste:

histidină	5,0%
arginină	0,5%
tirozină	4,3%
prolină	8,4%
acid aspartic și glutamic	9,7%
lizina	urme
triptofan	3,0%
cistină	1,6%
In total	15,0%
cenușe	1,4%
P	urme
S	0,5%

Scanned with OKEN Scanner

N. M. Sisakian și M. S. Cerneak, au pus în evidență în plastele frunzelor și rădăcinilor sfeclei de zahăr, cantități mari de acizi nucleici, atît acid ribonucleic cît și desoxiribonucleic. O parte însemnată din fosforul cloroplastelor se găsește în fosfoproteide. Cum arată analizele lui Vecer, tabela 16, cloroplastele conțin o cantitate mai mică de substanțe minerale decît frunzele. Unele dintre elementele ca Mn, Fe, Mg, Cu, și Zn, se găsesc în cantitate mai mare în cloroplaste. Acest fapt se explică prin participarea Mg la alcătuirea moleculei clorofilei, a Fe, Cu, Mn, la alcătuirea diferiților fermenți oxidanți.

Conținutul elementelor minerale în frunzele și în cloroplastele de Spinacia oleracea (în % sau mg % în raport cu greutatea uscată

Tabel nr. 16

Substanța	In frunze	In cloropaste
Cenușa în %	24,7	10,0
K „	12,5	2,7
Mg „	0,49	1,20
Fe „	0,06	0,28
Mn (în mg. %)	42,8	(45,8)
Cu „	25,1	61,7
Zn „	20,0	67,1

Vitaminele solubile în apă, se găsesc în cloroplaste, în cantitate mai mică decît în frunze. Așa de ex. acidul ascorbinic se găsește în cloroplaste în cantitate de 19 mg. la 100 gr., iar în frunze în cantitate de 86 mg. la 100 gr. Vitaminele liposolubile, se găsesc în cloroplaste în cantitate mai mare ca în frunze. Carotina se găsește în frunzele de spanac în proporție de 0,390%. Vitamina E se găsește în cloroplastele frunzelor de la spanac în proporție de 0,08%, în timp ce în citoplasmă e în proporție de 0,02%. La fel și ergosterolul, vitamina E și vitamina K, sînt în proporție mai mare în cloroplaste ca în citoplasmă.

N. M. Sisakian și colaboratorii săi, au arătat că cloroplastele conțin un număr mare de enzime, din grupa enzimelor hidrolizante și din grupa enzimelor oxidoreducătoare. Ei au pus în evidență invertaza, fosforilaza, fenoloxidaza, citocromoxidaza și diferite dehidraze. Unele enzime sînt adsorbite de substanțele cloroplastelor, altele sînt în stare liberă. Așa de ex. invertaza e puternic adsorbită, peroxidaza mai puțin, iar polifenoloxidaza și citocromoxidaza, sînt și mai puțin adsorbite.

Cantitatea mare a enzimelor din cloroplaste, se explică prin rolul pe care îl au acestea în fotosinteză, precum și prin faptul că și sinteza enzimelor are loc în cloroplaste.

Rolul cloroplastelor în asimilația CO_2 reiese din următoarele experiențe ale lui Engelmann. Acest cercetător a iluminat un filament de Spirogyra cu fascicole mici de lumină așa ca unul să cadă și pe cloro-

plast 1, al doilea să cadă numai pe protoplasmă 2. Cu metoda bacteriilor se constată numai în cazul 1, o îngrămădire a bacteriilor, fig. 114.

Asimilația clorofiliană în celule moarte sau în soluții de clorofilă a fost încercată în numeroase rînduri de mulți cercetători, dar nu s-au obținut rezultate pozitive sigure. S-a constatat o acțiune reducătoare puternică a cloroplastelor, de ex. reduc NO_3Ag, (Molisch), dar numai cele

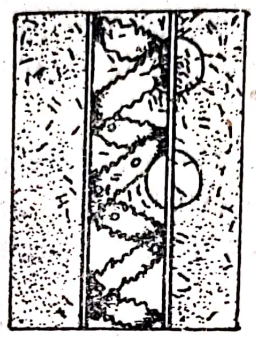


Fig. 114. Celula de Spirogyra iluminată cu două fascicole mici de lumină. Bacteriile se acumulează în fascicolul de iumină numai în cazul în care el. ilumineaza cloroplastul, ca în partea de sus a figurii.

vii. Cloroplastele pot adsorbi CO_2 și la întuneric condensînd astfel CO_2 care se găsește în concentrație mică în aer. Din această cauză o frunză adsoarbe o cantitate mare de CO_2, cam 50% din CO_2 absorbit de o soluție concentrată de KOH, cu aceeași suprafață, în același timp.

Rolul stromei cloroplastilor nu este bine cunoscut. Probabil stroma îndeplinește următoarele funcțiuni:

1. Menține clorofila în stare de funcționare, dispunînd-o în interiorul celulelor în particule mici.

2. Prin enzimele pe care le conține, intervine în fotosinteză atît în primul proces de unire a clorofilei cu CO_2 cît și mai tîrziu, în sinteza glucidelor.

3. Transformă zahărurile solubile sintetizate în amidon.

Pigmenții din cloroplaste.

Încă din secolul al XVII-lea s-a extras cu alcool o substanță verde din frunze care a fost apoi denumită clorofil. Fizicianul englez Stokes a arătat că alcoolul extrage 4 pigmenți de frunze și anume clorofila a și b, carotina și xantofila. Borodin I. P. a obținut clorofila în stare cristalizată, iar Țvet M. S. (1906) a arătat că ea se găsește în plante în stările a și b. Pentru aceasta el s-a servit de metoda adsorbției, iar descoperirea sa contestată la început, a fost confirmată de Willstätter, care a reușit să izoleze cele două componente.

Metoda adsorbției a lui Țvet e utilizată în zilele noastre pe scară largă, de ex. la prepararea penicilinei pure și a multor substanțe organice și a fermenților.

Willstätter și Stoll s-au ocupat de studiul amănunțit al pigmenților din frunze și abia de la ei încoace (1913-1918) avem cunoștințe mai precise asupra pigmenților clorofilieni.

Lucrări de seamă asupra pigmenților din cloroplaste au efectuat și K. A. Timiriazev, V. N. Liubimenko, G. Fișer și T. N. Godnev.

Extragerea pigmenților din frunze.

E de preferat să se extragă pigmenții din frunze proaspete, deoarece prin uscare se pierde o parte însemnată din pigmenți, (20-30%). Frunzele se țin timp scurt în apă clocotindă și apoi se extrag cu disolvanți organici ca alcool etilic, acetonă, alcool, metilic, amilic, cloroform, etc.

R. Willstàtter și A. Stoll se servesc de obicei de frunze proaspete pe care le extrag de obicei cu acetonă, la temperatura camerei. Ca extracția să se facă repede, macină frunzele într-un mojar, cu nisip de cuarț. Terciul obținut îl trec pe un filtru și îl extrag apoi cu porțiuni mici de acetonă.

În genere frunzele conțin 1% clorofilă.

Separarea pigmenților clorofilieni. a) separarea pigmenților galbeni, se poate face și prin metoda Sorby-Kraus sau prin metoda Țvet, dar de obicei se lucrează după metoda lui R. Willstätter:

Se pleacă de la extractul în acetonă care conține toți pigmenții. Pentru a obține pigmenții galbeni, se trece extractul din acetonă în eter etilic și se adaugă apoi o soluție KOH în alcool metilic. Se agită bine așa ca clorofilul a și b să se saponifice în întregime și să treacă în stratul de alcool metilic alcalin, în timp ce pigmenții galbeni rămîn nemodificați în stratul de eter. Se scurge stratul cu clorofila saponificată și din stratul de eter etilic care conține numai pigmenți galbeni, se separă carotina și xantofila, bazîndu-ne pe faptul că xantofila e mai solubilă în alcool metilic, iar carotina în eter de petrol.

Separarea clorofilei a și b după R. Willstätter.

Se pleacă de la extractul de clorofilă brută în acetonă. Extractul se toarnă în eter de petrol și se spală cu alcool metilic xantofila. După aceea se spală cu apă tot alcoolul metilic și atunci clorofila a și b precipită sub formă de praf fin, deoarece acești pigmenți sînt insolubili în eterul de petrol lipsit complect de alcool. Prin filtrare se separă de carotină și apoi se purifică dizolvîndu-i în eter etilic și precipitîndu-i cu eter de petrol.

Proprietățile fizice ale clorofilei a și b.

Sînt substanțe microcristaline, insolubile în apă și solubile în alcool etilic, metilic, butilic, eter etilic, acetonă, cloroform și CS_2.

Culoarea clorofilei a în soluție alcoolică e verde albăstrie, cu o fluorescență roșie rubinie.

Culoarea clorofilei b în soluție alcoolică e verde gălbue, cu o fluorescență roșie brună.

Fluorescența clorofilei e proprietatea pe care o are în soluție adevărată, de a avea o culoare verde prin transparență și una roșie prin reflexie. În soluții coloidale, în care la ultra microscop se văd micele, fluorescența dispare. Transformînd soluții adevărate de clorofilă în alcool, în soluții coloidale, prin adăogare de apă, de ulei sau de talc, dispare și fluorescența.

Cu microscopul fluorescent se constată că și cloroplastele sînt fluorescente, ceea ce denotă că clorofila se găsește în cloroplaste în stare de soluție adevărată și anume ar fi dizolvată în lecitină, Și frunzele vii sînt fluorescente, dar fenomenul nu poate fi observat cu ochiul liber din cauza numeroaselor raze reflectate. Se constată numai la iluminarea frunzei vii cu lumină albastră, cînd radiațiunile reflectate diferă prin λ de cele care trec prin frunză.

Fluorescența constă în transformarea radiațiunilor de lumină cu λ mic, în radiațiuni de lumină cu λ mai mare. În acest mod radiațiuni ultraviolete pot deveni vizibile.

Lumina fluorescentă a clorofilei are $\lambda = 681$

Fluorescența cloroplastelor e mult mai scăzută decît a soluțiilor de clorofilă, reprezentînd numai 0,005-0,15% din fluorescența soluțiilor de clorofilă. E probabil că slăbirea fluorescențelor cloroplastelor vii, să se datoreze absorbției luminii de fluorescență, de către însăși pigmenții. Acest fapt prezintă o însemnătate în păstrarea în cloroplaste a energiei de lumină absorbită. Fluorescența cloroplastelor depinde de starea lor fiziologică, precum și de starea de dezvoltare a organismului vegetal.

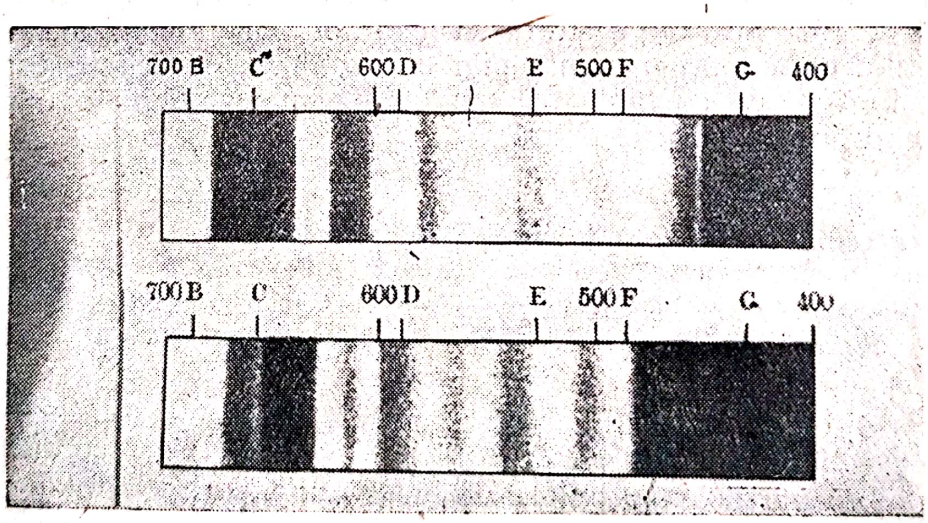


Fig. 115. Spectrul de absorbție al clorofilei A, în partea de sus și a clorofilei b în partea de jos a figurii (după Willstätter și Stoll).

Spectrul de absorbție al clorofilei diferă la clorofila a și b și la ambele după concentrația soluției. În soluții diluate, fig. 115, clorofila a are o bandă puternică de absorbție în roșu, la dreapta lui B, în C, o bandă mai îngustă și mai slabă, la stînga lui D, trei benzi slabe între D și F, una intensă și lată în G, și una mai slabă la stînga ei.

Scanned with OKEN Scanner

Clorofila b are în soluție diluată cam aceleași benzi, dar ele sînt puțin deplasate spre dreapta. Banda intensă din C și aceea de la stînga lui D, sînt duble, iar banda de absorbție din G e mai lată.

In soluția concentrată care corespunde concentrației clorofilei din cloroplaste, sînt numai două benzi de absorbție, și anume una intensă în roșu portocaliu și galben, și alta în albastru indigo și violet, întreruptă în verde.

Așa cum se vede în fig. maximul de absorbție a luminii de către clorofila b, în lumina roșie, e deplasat mai spre dreapta, iar în lumina albastră mai spre stînga, față de maximul de absorbție al clorofilei a.

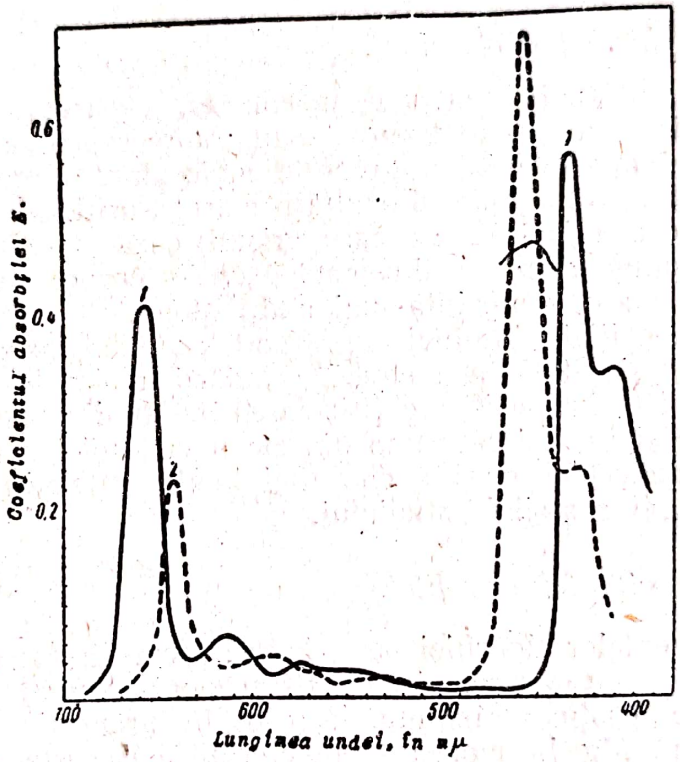


Fig. 116. Spectrul de absorbție al soluțiilor de clorofilă și clorofilă b 2, în eter eti ic.

Clorofila nu absoarbe razele verzi, din care cauză ea are și culoarea verde. De asemenea nu absoarbe razele roșii cu lungime de undă mare, din vecinătatea razelor infraroșii. Acest fapt e însemnat, întrucît cloroplastele nu reține razele de lumină bogate în căldură, și fără efect în fotosinteză. Spectrul de absorbție al clorofilei se explică prin prezența numeroaselor legături duble conjugate din molecula clorofilei. Cu cît acestea sînt mai numeroase, cu atît substanța respectivă absoarbe mai puternic lumina și cu atît spectrul de absorbție se prelungește mai mult spre radiațiile cu lungimea de undă mai mare.

Absorbția luminii de clorofilă, a radiațiilor cu lungime de undă mare, e strîns legată de prezența legăturilor metaloorganice din molecula sa.

Pigmenții plantelor fotosintezante.

La plantele fotosintezante s-au pus în evidență trei grupe de pigmenți: grupa pigmenților clorofilieni, grupa pigmenților carotinoizi și grupa pigmenților ficobilini.

Grupa pigmenților clorofilieni.

Această grupă cuprinde: clorofila a, clorofila b, protoclorofila, bacterioclorofila și bacteriovirina. Dintre aceștia, cei mai răspîndiți sînt clorofila a și clorofila b.

Compoziția chimică a clorofilei.

Clorofila e substanța cea mai însemnată, deoarece toate celelalte substanțe organice sînt produse direct sau indirect prin ea.

Este o substanță labilă, cu greutate moleculară mare. Din această cauză studiul ei a întîmpinat dificultăți mari. Purificarea ei se obține anevoie din cauza dificultății cu care cristalizează. Greutatea ei moleculară se determină anevoie, din cauză că o eroare de 1-2%, la o moleculă așa de mare, reprezintă mai mulți atomi.

Studiul compoziției clorofilei a devenit accesibil prin aplicarea de către Willstätter și Stoll, a metodei scindării moleculei mari în alte molecule mai mici, în purificarea, izolarea și studiul moleculelor mai mici componente și în resintetizarea din ele a moleculei mari a clorofilei. Prin scindarea moleculei mari a clorofilei labile, se obțin molecule mai mici, mai stabile și accesibile studiului.

Alcătuirea moleculei clorofilei.

Analiza elementelor clorofilei pure, indică prezența C, H, O, N și Mg. În afară de Mg nu se găsește nici un alt element mineral, nici Fe și nici PO^4H_3, cum se susținea înainte, Mg e în proporție constantă, și revine la 1 atom Mg la molecula de clorofilă. El este unit cu N, și nu cu O. El e unit prin 2 valențe cu 2 atomi de N din 2 nuclee pirolice și cu 2 valențe secundare cu alți 2 atomi de N din nuclei pirolici. Rolul Mg nu e cunoscut, „Willstätter presupune că ar funcționa la fel ca în compușii organomagnezieni ai lui Grignard. Cu acizi minerali sau organici chiar și cu CO_3H_2, Mg se scoate din molecula clorofilei, dînd sarea respectivă de Mg, iar în locul său pătrund în molecula clorofilei 2 atomi de H. Compusul fără Mg, numit feofitină, are o culoare brună sau măslinie și totodată dispare și fluorescența. La acești compuși lipsiți de Mg se poate introduce un alt atom de metal Fe, Cu, Zn, sau mai greu de Mg și în toate cazurile reapare culoarea verde.

Acțiunea clorofilazei asupra clorofilei a.

În frunze se găsește un ferment numit clorofilază, care saponifică numai fitolul din molecula clorofilei. Acest ferment acționează și în prezența alcoolului etilic conc., sau a acetonei conc. El are și o acțiune sintetizantă ca și alți fermenți hidrolizanți și de obicei în locul fitolului

se introduce în molecula clorofilei un radical metilic sau etilic, după cum extractul de clorofilă e în alcool metilic sau etilic.

Metil clorofilid a. $C_{32}H_{30}ON_4Mg\begin{matrix}COOCH_3\\COOCH_3\end{matrix}$

Etil clorofilid a, $C_{32}H_{30}N_4Mg\begin{matrix}COOCH_3\\COOC_2H_5\end{matrix}$

Dacă clorofilaza acționează în soluție de acetonă sau de eter, se obține clorofilidul a cu caracter acid.

$$C_{32}H_{30}N_4Mg\begin{matrix}COOCH_3\\COOH\end{matrix}$$

Clorofilidele sînt substanțe verzi care cristalizează ușor în cristale mari.

Acțiunea acizilor asupra clorofilei a și derivaților cu Mg constă în genere în a scoate Mg și a introduce 2 atomi de H. Astfel:

$$C_{32}H_{30}ON_4Mg\begin{matrix}COOCH_3\\COOC_{20}H_{39}\end{matrix} + 2\,HCl \longrightarrow C_{32}H_{30}ON_4\begin{matrix}COOCH_3\\COOC_{10}H_{39}\end{matrix} + MgCl_2$$

clorofila a — feofitina a

$$C_{32}H_{30}ON_4Mg\begin{matrix}COOCH_3\\COOCH\end{matrix} + 2\,HCl \longrightarrow C_{32}H_{32}ON_4\begin{matrix}COOCH_3\\COOH\end{matrix} + MgCi_2$$

clorofilid a — feoforbid a

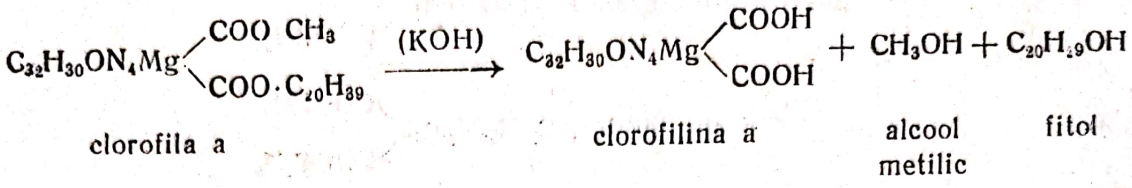
$$C_{32}H_{30}ON_4Mg\begin{matrix}COOH\\COOH\end{matrix} + 2\,HCl \longrightarrow C_{32}ON_4\begin{matrix}COOH\\COOH\end{matrix} + MgCl_2$$

clorofilina a — fitoclorina

Feofitina și feoforbidul sînt brune, de consistența cerii. Fitoclorina e verde, iar din clorofilina b se obține în mod analog fitorodina, de culoare roșie în eter etilic. Acești doi produși, fitoclorina și fitorodina, diferă între ei mai mult decît clorofila a și b. Ei sînt solubili în HCl în care au o culoare albastră. Soluțiile lor în HCl servesc la analiza colorimetrică a clorofilei a și b.

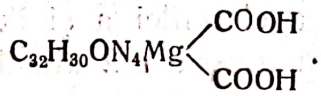
Scanned with OKEN Scanner

Saponificarea clorofilei a se face prin tratarea ei cu KOH, deobicei în soluție de alcool metilic. Se saponifică atît esterul cu alcoolul metilic, cît și cel cu alcool fitilic și se obține clorofilina a.

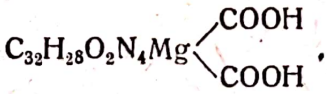


Clorofilina e verde ca și clorofila naturală și are cam același spectru de absorbție cu ea. De asemenea păstrează și fluorescența. Aceste însușiri sînt legate de nucleul central al clorofilei, care nu se distruge prin saponificare.

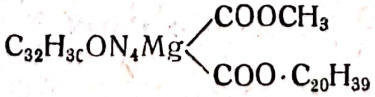
In afară de Mg, molecula clorofilei mai cuprinde următoarele 3 grupări: alcool metilic, CH_3OH, alcool fitilic, sau fitolul, cu formula brută $C_{20}H_{39}OH$ și acidul clorofilic a, sau clorofilina a, cu formula brută



Clorofila b conține acidul clorofilic b, sau clorofilina b, cu formula brută:



Acidul clorofilic e un acid bibazic. In molecula clorofilei, un carboxil al său e esterificat cu alcool metilic, iar al doilea carboxil e esterificat cu alcoolul fitilic.



Formula structurală a clorofilei a, arată cei patru nuclei pirolici legați prin atomii de azot, de atomul de magneziu. Nucleii pirolici sînt legați între ei de grupări metinice =CH—. La inelul pirolului 1, se găsește o grupare vinilică.

In formula clorofilei se găsesc două grupări carboxilice, dintre care una e esterificată cu alcoolul metilic. Cealaltă grupare carboxilică aparține radicalului acidului propionic și este esterificată la rîndul său

cu fitolul. Fitolul are formula brută $C_{20}H_{39}OH$. Formula sa structurală e următoarea:

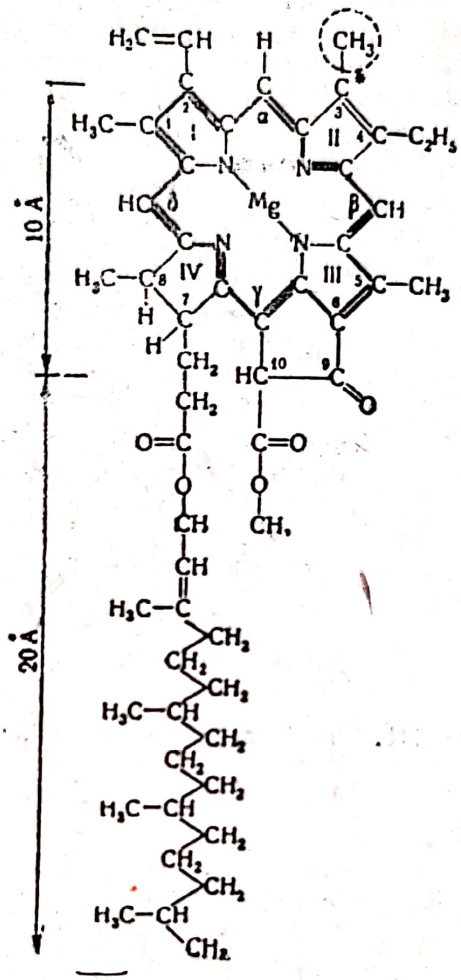


Fig. 117. Formula clorofilei a.

Din cauza dublei legături și a numeroșilor radicali metilici, fitolul este foarte oxidabil, proprietate care poate fi pusă în legătură cu acțiunea reducătoare a clorofilei. Din cauza nestabilității sale mari, fitolul a fost descoperit tîrziu, deși el constitue cam a treia parte din molecula clorofilei. În stare pură, fitolul se prezintă ca o masă vîscoasă incoloră. După natura chimică, fitolul se apropie de carotină.

Clorofila b are formula structurală din fig. 118.

Spre deosebire de clorofila a, la clorofila b gruparea metilică la cel de al doilea inel pirolic e înlocuită cu o grupare aldehidică. Protoclorofila se găsește în cantitate mică în semințele unor cucurbitacee. Ea se formează la plantele superioare la întuneric, iar la lumină se transformă în clorofilă a. Formula ei brută, e următoarea: $C_{55}H_{74}O_6N_4Mg$. Formula structurală a bacterioclorofilei este arătată în fig. 119.

Spre deosebire de molecula clorofilei, molecula bacterioclorofilei are în locul grupării $-CH=CH_2$, gruparea $-C(=O)-CH_3$

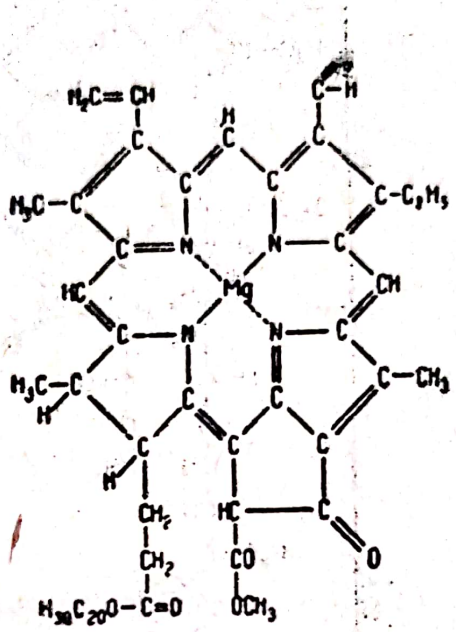


Fig 118. Structura formulei clorofilei b.

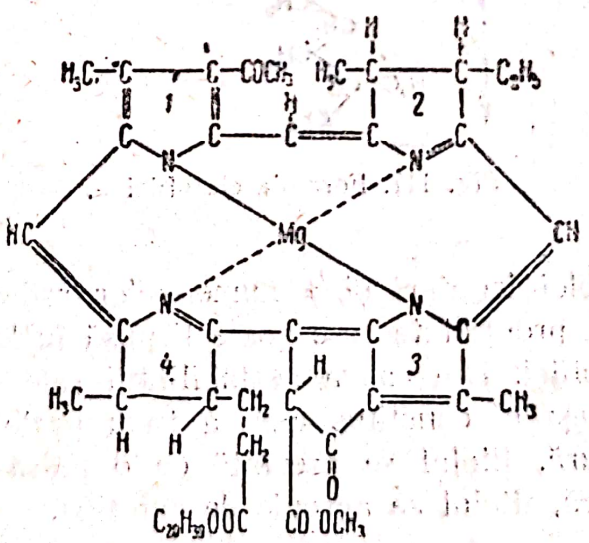


Fig. 119. Formula de structură a-bacterioclorofilei.

În afară de acestea, atomii de C_3 și C_4 sînt hidrogenați. Bacterioclorofila se prezintă de asemenea sub două forme a și b. Bacterioclorofila are trei maxime de absorbție a luminii și anume la lungimile de undă 400, 605 și 770 m μ.

Bacterioviridina se găsește la bacteriile sulfuroase verzi. Ea are un maxim de absorbție a luminii de lungimea de undă 670 m μ.

Prin distrugeri mai înaintate ale moleculei clorofilei, se obțin produse chimice apropiate cu acelea obținute din degradarea hemoglobinei. K. A. Timiriazev, a arătat asemănarea dintre cei doi pigmenți însemnați, unul pentru regnul vegetal, clorofila, și altul pentru regnul animal, hemoglobina. Biochimistul rus M. V. Nențkii cu colaboratorii săi, a obținut produsul hematoporfirină, care nu conține fier, plecînd dela hemină, obținută la rîndul ei din hemoglobină. Marhlevski, elev al lui M. V. Nențkii, a obținut produsul filoporfirină, care nu conține magneziu, plecînd dela clorofilă. Cele două produse hematoporfirina și filoporfirina, sînt apropiate. Nențkii a obținut din hemină, produsul mezoporfirină, care este intermediar între hematoporfirină și filoporfirină.

Interesant e faptul că în ultimul timp pigmentul hemoglobină s-a găsit și la bacteriile din nodozitățile leguminoaselor. Clorofila aparține grupei porfirinelor și anume a porfirinelor magneziene. Hemoglobina, catalaza și citocromii fac parte tot din grupa porfirinelor, dar ele conținînd fier în molecula lor, aparțin feroporfirinelor.

Ceea ce deosebește clorofila de celelalte porfirine, este faptul că pe lîngă cele patru heterocicluri din moleculă, ea mai conține o grupare ciclică cu cinci atomi de C. Acest ciclopenten, conține o grupare cetonică la atomul de C_9, de unde și denumirea sa de ciclipentenonă. Această grupare dă clorofilei o posibilitate mare de reacțiune a atomilor de C_9 și 10. Prin desfacerea legăturii duble, se dă posibilitatea legării unei molecule de apă, de molecula clorofilei. În procesul de legare a apei, oxidrilii se leagă de atomii de carbon în dreptul fostei duble legături, iar atomii de hidrogen se leagă de atomii de carbon 5 și 6 a grupării pirolice vecine, cum se vede în formula de structură a clorofilei, din fig. 117.

Clorofila b conține în molecula sa, cu doi atomi de H mai puțin decît clorofila a. Cu toate acestea, ea nu poate fi obținută prin oxidarea clorofilei a. R. Willstätter și A. Stoll au arătat că nici în decursul fotosintezei nu are loc o transformare a clorofilei a în clorofilă b sau invers, a clorofilei b în clorofilă a. Nu toate plantele conțin ambele clorofiluri. Algele brune, albastre, roșii, diatomeele și dinoflagelatele conțin numai clorofila a. Cloroficeele și plantele superioare, conțin amîndouă clorofilurile. La flagelate, unele specii conțin ambele clorofile, altele numai una.

În grupa pigmenților carotinoizi, intră carotina β, carotina α, xantofila și fucoxantina.

Carotina β, intră ca un component important în țesuturile verzi ale tuturor plantelor, iar carotina α, se găsește în frunzele verzi în cantități neînsemnate. În cantitate mai mare, ea se găsește la algele roșii și la sifonale. Carotinele sînt solubile în substanțe grase și în disolvanții substanțelor grase. Soluțiile diluate ale carotinei au culoarea galbenă deschisă, portocalie sau roșie deschisă. Așa de ex. culoarea soluției de carotină în cloroform și benzol e galbenă, iar în sulfura de carbon e roșie portocalie. Soluțiile concentrate au o culoare portocalie sau roșie închisă. Prin tratarea lor cu SO_4H_2 concentrat, se obțin produse colorate în albastru.

Carotina face parte din grupa hidrocarburilor nesaturate. Formula sa brută e $C_{40}H_{56}$. Alcătuirea moleculei carotinei α și a carotinei β, este următoarea:

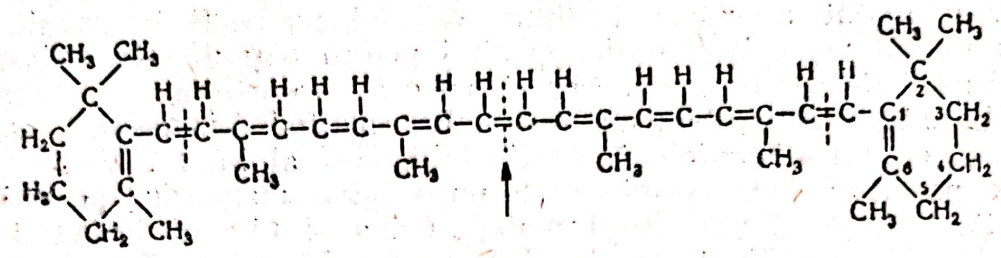


Fig. 120. Formu a de structură a moleculei carotinei β

Ea e formată dintr-un lanț de atomi de C cu mai multe legături duble, și cu 4 radicali metilici. La amîndouă capetele ale acestui lanț, se găsește cîte un ciclu de 6 atomi de C cu cîte o dublă legătură. Fiecare ciclu are trei radicali metilici. Din cauza numeroaselor legături duble, carotina se oxidează repede în contact cu aerul, din care absoarbe oxigen pînă la 40% din greutatea sa. Prin oxidare ea se transformă în alt pigment galben, nu însă în xantofilă.

Pigmenții carotinoizi derivă din licopină. Această substanță se găsește în fructele tomatelor.

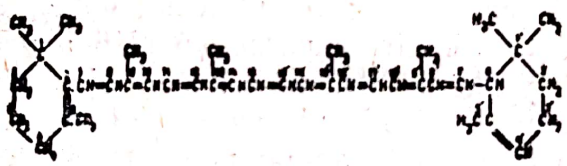


Fig. 121. Formula de structură a moleculei carotinei α.

Se cunosc mai multe carotine. Dintre acestea carotina α și carotina β, au cîte un ciclu la fiecare din capetele moleculei. Carotina α se deosebește de carotina β prin poziția unei duble legături la unul din cicluri.

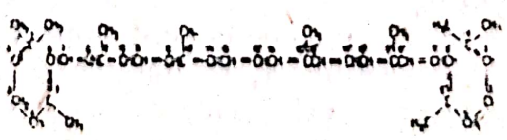


Fig. 122. Formula de structură a moleculei licopinei

Spre deosebire de carotina α și β, carotina γ conține un singur ciclu.

Soluțiile carotinei nu sînt fluorescente. Ele au trei benzi de absorbție, situate în regiunea razelor verzi și albastre ale spectrului. Carotina nu

absoarbe deloc razele roșii ale spectrului. Prin reducere, carotina formează pigmenți mai slab colorați în galben, iar prin reducerea mai înaintată, culoarea lor dispare cu totul. La separarea carotinei de xantofilă, se obțin rezultate bune cu metoda lui M. S. Țvet. Soluția ce conține pigmenți în amestec, se trece printr-o coloană cu praf de zahăr, care absoarbe cea mai mare parte a carotinei, lăsînd să treacă xantofila. Carotinele α și β, au aceeași formulă brută, deosebindu-se numai prin structura lor. Carotina α are o dublă legătură nesimetrică situată la unul dintre cele două cicluri. În legătură cu aceasta, ea are un atom de carbon nesimetric și ca atare rotește planul luminii polarizate la dreapta. Prin tratarea soluțiilor alcoolice a carotinei α cu soluții alcaline concentrate, carotina α se transformă în izomerul β. În organismul animal, molecula carotinei se rupe la mijloc, oxidîndu-se totodată atomul terminal la o grupare alcoolică, $—CH_2OH$. Alcoolul format este vitamina A.

În corpul plantelor pigmenții carotinoizi, pot fi reduși prin hidrogenări ale dublelor legături. În prezența catalizatorilor, pot fi reduse prin hidrogenare toate cele 11 legături duble ale betacarotinei, sau ale xantofilei. Se pare că fitolul provine din hidratarea lanțurilor provenite din ruperea moleculei pigmenților carotinoizi. Prin ruperea lanțului moleculei carotinei β, în dreptul liniilor punctate din fig. (120), pag. [230] și oxidarea lor, se obțin niște acizi bibazici. De obicei, cu această ocazie, se oxidează pînă la o grupare aldehidică și atomul de carbon din gruparea metilică, care rămîne unit cu ciclul.

Absorbția luminii de către pigmenții carotinoizi, se atribue tot legăturilor duble conjugate. Cu cît acestea sînt mai numeroase, cu atît se absorb raze de lumină cu lungime de undă mai mare. Așa de exemplu, carotinoidul din bacteriile purpurii, rodoviolascina conține 13 legături duble conjugate în loc de 11 cîte are betacarotina și ca atare, absoarbe razele cu $\lambda = 570$ m μ. în loc de 450 m μ. cît absoarbe optim betacarotina. În absorbția luminii de către pigmenții carotinoizi, intervin și grupările conjugate ale nucleilor ciclici. Așa de ex. licopina din fructele de tomate are culoarea portocalie. Această substanță se deosebește de betacarotină numai prin legăturile din cicluri.

Xantofila e insolubilă în eter de petrol și de aceea se poate separa ușor de carotină. Ea are o structură chimică asemănătoare cu a carotinei, dar are 2 atomi de oxigen: $C_{40}H_{54}(OH)_2$. Și ea absoarbe puternic O_2. În plante xantofila se găsește în clorplaste, împreună cu ceilalți pigmenți.

Spectrul de absorbție al xantofilei e asemănător cu al carotinei, avînd tot trei benzi de absorbție în albastru violet, dar deplasate mai spre violet. Maximele de absorbție sînt la 447 și la 470 m μ. Ca și carotina, nici xantofila nu e fluorescentă.

Ficoxantina este pigmentul brun răspîndit la algele brune. E înrudită cu xantofila și cu carotina. Formula sa brută e ($C_{40}H_{54—60}O_6$). Cristalizează ușor din soluția de alcool metilic, formînd prisme brune. Spectrul său de absorbție e caracterizat prin două benzi cu maximul de absorbție a radiațiilor cu lungimea de undă 452 și 470 m μ. Spre deosebire de carotină și xantofilă, ficoxantina nu absoarbe oxigen din aer.

Grupa ficobilinelor cuprinde pigmenții ficoeritrină și ficocianină. Ficoeritrina e răspîndită la algele roșii, cărora le dă această culoare caracteristică. Formula sa brută este următoarea: $C_{34}H_{47}N_4O_8$. Ficoeritri-

na e solubilă în apă și insolubilă în dizolvanți organici. Absoarbe mai ales razele de lumină cu lungimea de undă 497, 540 și 566 mμ.

Ficocianina este pigmentul albastru al Cyanophyceelor. E solubilă în apă și în dizolvanți organici. Are următoarea formulă brută: $C_{34}H_{42}N_4O_9$. Maximul de absorbție al luminii, este la 615 mμ.

Atît ficoeritrina cît și ficocianina se găsesc de obicei în cloroplastele frunzelor verzi, împreună cu ceilalți pigmenți clorofilieni. Aici ei se găsesc în cantitate mică și nu pot fi extrași cu disolvanți organici. Ei pot fi extrași din frunzele macerate, cari au fost supuse autolizei, cu ajutorul apei cu care formează soluții coloidale fluorescente. Ficoeritrina și ficoxantina au în molecula lor cîte patru nuclei pirolici uniți între ei de grupări metilenice, în formă de lanț. Acești pigmenți nu conțin magneziu sau alt metal în molecula lor. În mod normal acești pigmenți sînt uniți cu substanțele proteice formînd așa numitele cromoproteide. Legătura cu substanțele proteice se face probabil prin intermediul grupării carboxilice a pigmenților și cu grupările aminice ale substanțelor proteice. Se admite că gruparea cromogenă a acestor pigmenți e apropiată cu gruparea cromogenă a bilirubinei din ficatul animalelor.

Rolul pigmenților galbeni în fotosinteză nu este cunoscut. Nu se știe dacă energia razelor absorbite de pigmenții carotinoizi e folosită în fenomenul fotosintezei.

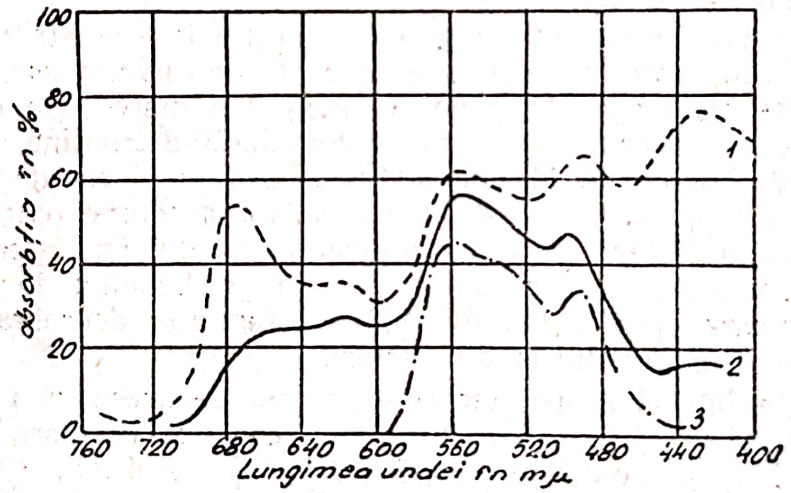


Fig. 123. Intensitatea fotosintezei—3. Absorbția luminii—1. Extractul ficoeritrinei — 2 la alga roșie Porphyra nereocystis.

După părerea lui A. N. Terenin, energia luminii absorbită de pigmenții galbeni ar putea fi predată moleculei de clorofilă, care ar folosi-o apoi în fenomenul fotosintezei.

La algele roșii, A. A. Richter (1914) și V. N. Liubumenko (1926), au arătat că razele de lumină absorbite de ficoeritrină, sînt folosite în fotosinteză. La alga marină Nitzchia closterium, s-a stabilit că fotosinteza decurge paralel cu spectrul de absorbție al ficoeritrinei și nu cu spectrul de absorbție al clorofilei. Date asemănătoare s-au stabilit și la alga Porphyra nereocystis, fig. 123.

La algele brune și la diatomee, Kersten și Wissing, au arătat că razele de lumină absorbite de ficoxantină sînt utilizate în procesul fotosintezei.

A. N. Terenin e de părere că pigmenții solubili în apă ai algelor, înlocuesc în parte clorofila și că lumina absorbită de ei e folosită în fenomenul fotosintezei, la fel cu lumina absorbită de clorofilă.

Formarea pigmenților cloroplastelor.

De problema aceasta s-au ocupat mai mulți cercetători ca J. Sachs, Wiesner, K. A. Timiriazev, V. I. Palladin, V. N. Liubimenko, N. A. Monteverde, T. Godnev, R. Willstätter, ș. a. Aceștia au arătat complexitatea procesului de formare a pigmenților clorofilieni. Această sinteză are loc în anumite condiții de lumină, temperatură, de stare a protoplasmei, de aprovizionare cu glucide și cu anumite elemente minerale, etc.

Influența luminii asupra formării cloroplastelor, a fost cercetată amănunțit. Plantele superioare desvoltate în lipsa luminii, au o culoare galbenă verzue. Pentru înverzirea acestora, lumina este necesară cum a semnalat filozoful grec Aristoteles. Dela această regulă fac excepție cotiledoanele unor plante, ca de ex. ale bradului, pinului, làmîiului, portocalului, care sînt verzi și la întuneric. De asemenea frunzele de Croccus și filocladele dela Viscum înverzesc și în lipsa luminii. Algele, mușchii și ferigele produc pigmenți clorofilieni și la întuneric, dar în cantitate mai mică decît la lumină, cum a arătat V. I. Palladin (1922).

N. A. Monteverde a arătat că expunînd plante etiolate în decurs de un minut la lumină, apar pigmenți clorofilieni pe care i-a identificat după spectrul de absorbție. J. Sachs a arătat că în lumina difuză, se formează o cantitate mai mare de pigmenți clorofilieni, decît în plin soare.

E. R. Giubbenet expunînd plantele etiolate de grîu la lumină de trei intensități diferite și anume 50 w, 300 w, și 1500 w, timp de 2, 8, 16 și 24 ore, a constatat că la expunerea de durată mică (2—8 ore), se formează o cantitate mai mare de pigmenți clorofilieni la lumina slabă decît la lumina mai intensă. La expunerea de durată mai mare de 24 ore, cantitatea mai mare de pigmenți clorofilieni se sintetizează în lumina mai intensă, cum se vede în tabelă. fig. 17.

Conținutul clorofilei (mg./kg. subst. proaspătă) în frunzele etiolate ale plantelor de grîu, ținute în condiții diferite de iluminare

Tabel nr. 17.

Durata expunerii în ore	Puterea lămpilor					
	50 wat		300 wat		1500 wat	
	mg.	%	mg.	%	mg.	%
2	55	100	50	90	31	55
8	413	100	376	89	273	66
16	790	100	967	122	764	96
34	1118	100	1246	111	1249	111

Sinteza pigmenților clorofilieni, are loc în toate radiațiunile vizibile ale spectrului, începînd cu razele cu lungimea de undă de 680 mμ. și sfîrșind cu cele de 300 mμ. Pentru energia radiantă egală, radiațiunile roșii sînt cele mai active, iar cele verzi sînt cele mai puțin active, așa cum se vede din experiența lui E. R. Giubbenet, care a ținut plantule etiolate de grîu, în diferite radiații ale spectrului. Tabela nr. 18.

Acumularea clorofilei (mg./kg. substanță proaspătă) în frunzele plantelor de grîu, în lumină naturală și în lumină monocromatică

Tabel nr. 18

Ecranul	Conținutul clorofilei	
	mg.	%
geam incolor	1194	100
„ roșu	357	30
„ verde	128	11
„ albastru	177	15

K. A. Timiriazev a arătat că în plantulele etiolate se formează în lipsa luminii în afară de pigmenți galbeni carotină și xantofilă, un pigment cu o fluorescență roșie și cu un spectru de absorbție apropiat de al clorofilei. Acest pigment numit de N. A. Monteverde protoclorofilă, se transformă la lumină ușor în clorofilă. Seybold și Egel, au arătat cu metoda lui Țvet că protoclorofila se prezintă sub formele a și b, corespunzătoare celor două forme ale clorofilei. Clorofila a provine din protoclorofila a, iar clorofila b, din protoclorofila b. Imediat după iluminare, în plantele etiolate se formează mai întîi clorofila a, și abea mai tîrziu clorofila b.

Protoclorofila este apropiată de clorofilă, de care se deosebește printr-aceea că în molecula sa, sînt cu doi atomi de hidrogen mai puțin. Acești doi atomi de hidrogen lipsesc la al 7-lea și 8-lea atom de carbon, între care se stabilește o legătură dublă. Astfel protoclorofila conține în molecula sa în afară de legătura dublă între al 3-lea și al 4-lea atom de carbon la cel de al doilea ciclu și legătura dublă între cel de al 7-lea și al 8-lea atom de carbon, la cel de al 4-lea ciclu.

T. N. Godnev e de părere că nucleul clorofilei se formează prin condensarea grupărilor pirolice, cu ajutorul aldehidei formice. După părerea sa, fitolul s-ar forma din lanțul pigmenților carotinoizi. În felul acesta, ar exista o legătură genetică între pigmenții verzi și galbeni ai cloroplastelor. V. I. Palladin a arătat în 1893 că sinteza clorofilei de către plante, e în strînsă legătură cu metabolismul lor. El a putut stabili o înverzire cu atît mai grabnică a plantelor etiolate, cu cît acestea conți-

neau o cantitate mai mare de glucide. V. N. Liubimenko a arătat că înverzirea plantelor etiolate de grîu are loc începînd cu temperatura de +2° și +4°C. și ea are optimul între 26°C și 30°C, încetînd în jurul a 48°C.

V. N. Liubimenko și N. N. Gortikova au arătat că formarea clorofilei poate avea loc numai în prezența oxigenului. Într-o atmosferă de H_2 sinteza clorofilei nu are loc și se constată o distrugere a clorofilei existente. Oxigenul e necesar mai ales la sinteza protoclorofilei. Transformarea protoclorofilei în clorofilă, poate avea loc și în lipsa oxigenului. Distrugerea clorofilei la întuneric are loc cu viteze diferite, la diferitele specii. Chiar la aceeași plantă fenomenul decurge cu intensitate neegală la organe diferite. Așa de ex. la frunzele tinere, distrugerea clorofilei la întuneric are loc mai repede ca la frunzele adulte. La unele frunze, de ex. de Bryophylum, Cicas, se păstrează o parte din pigmenții verzi timp de mai multe luni de ținere a frunzelor la întuneric. La frunzele la care a avut loc o distrugere a pigmenților clorofilieni la întuneric, prin trecerea lor din nou la lumină, sinteza acestor pigmenți se face cu mare întîrziere.

A. A. Tabențki a arătat la frunzele tinere de sfeclă de zahăr ținute cu pețiolul în soluții nutritive diferite, că paralel cu creșterea cantității de azot în soluția minerală nutritivă, are loc o creștere a numărului cloroplastelor, cum se vede în tabelă. Creșterea numărului cloroplastelor are loc și la frunzele adulte sub influența îngrășămîntului cu azot.

Acțiunea conținutului azotului în mediu nutritiv asupra formării cloroplastelor, (în % față de starea inițială), după 21 zile de ținere a frunzelor secționate, pe soluții nutritive

Tabel nr. 19.

	Conținutul azotului asimilabil în mediu de cultură			
	Fără azot	1 normă	2 norme	3 norme
Mărimea celulelor frunzei	94	129	141	167
Numărul plastidelor	97	102	140	252

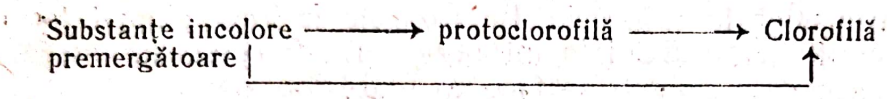
La algele verzi, s-a arătat rolul însemnat al sulfului în formarea pigmenților verzi. La acestea are un rol însemnat și zincul, întrucît în cazul în care acesta este dat în cantitate insuficientă, conținutul clorofilei la alga Chlorella scade simțitor.

Cercetătorul finlandez Liro (1908) presupune că formarea pigmenților verzi, are loc prin două reacții, dintre care prima, de întuneric decurge încet, iar a doua de lumină, decurge mai repede. E. R. Giubbenet a cercetat formarea pigmenților verzi în plantulele etiolate de grîu, în lumina întreruptă și continuă. În razele de lumină ale acesteia din urmă, se formează o cantitate mai mare de pigmenți verzi, decît în lumina continuă și anume la pauzele de 1 minut lumină și 3 minute întuneric, de 9 ori mai mult, iar la fazele de lumină de 1 minut și de întuneric de 10 minute, de 33 ori mai mult. În mod normal, formarea clorofilei este întîrziată de reacțiile de întuneric care decurg mai încet. În acestea are loc

formarea unei substanțe premergătoare a clorofilei încă necunoscută. Interesant e faptul stabilit de Rudolph (1934), după care formarea clorofilei în plantele etiolate are loc în cantitate mai mare la începutul iluminării. Așa de ex. în frunzele de Phaseolus multiflorus iluminate timp de 1 secundă, se formează mai mult de jumătate din pigmenții verzi, cari se acumulează în decurs de 10 minute de iluminare.

În decursul formării pigmenților clorofilieni, are loc o scădere a cantității de protoclorofilă. Clorofila formată, depășește cu mult protoclorofila.

Protoclorofila nu este aceeași la diferite specii de plante. Sub această denumire se înțeleg un grup de substanțe asemănătoare. De aceea protoclorofila în unele cazuri poate fi o substanță premergătoare a clorofilei, dar în alte cazuri, clorofila poate proveni direct din substanțe incolore, conform schemei următoare:



K. A. Timiriazev (1886) a redus cu ajutorul hidrogenului în stare născîndă clorofila, obținînd o substanță incoloră. Această reducere e reversibilă, ceea ce arată că ea nu a afectat prea mult molecula clorofilei. Reacția aceasta arată ușurința cu care se poate forma clorofila în corpul plantelor, precum și cu care ea poate fi redusă cantitativ. Așa de ex. ținînd frunzele într-o atmosferă cu oxid de carbon 1%, obținem o decolorare rapidă a frunzelor provocată probabil prin blocarea unor enzime oxidative. E. R. Giubbenet a arătat că la temperatura joasă e redusă mai ales sinteza protoclorofilei. Transformarea protoclorofilei în clorofilă, are loc relativ repede și la temperaturile joase. Acest fapt e în legătură cu natura chimică a sintezei protoclorofilei, deoarece reacțiile chimice depind în măsură mare de temperatură. Transformarea protoclorofilei în clorofilă, are loc printr-o reacție fotochimică, și astfel de reacții depind în măsură mică de temperatură.

După A. A. Krasnovski și L. M. Kosobuțkaia, transformarea protoclorofilei în clorofilă, are loc nu numai în țesuturile vii ale plantulelor etiolate, ci și în extractele din aceste plante.

Formarea pigmenților galbeni e mai puțin studiată decît a pigmenților verzi. Ei se formează și la plantele etiolate care se nutresc heterotrof pe socoteala substanțelor de rezervă din semințe. La lumină însă, cantitatea lor crește simțitor.

Influența sărurilor minerale asupra formării clorofilei.

Fe e absolut necesar. În lipsa lui plantele devin clorotice, au frunze mari din care lipsește clorofila. Fe se găsește în cantitate mare în stroma cloroplastelor și el are o acțiune catalitică în formarea clorofilei și probabil și în fotosinteză. El catalizează mai ales sintetizarea substanței pirol-carbonat de Mg, care cînd se dă plantelor, înverzesc și în lipsa ferului.

La fel cu ferul funcționează și alte săruri minerale în formarea clorfilei, dar în lipsa lor nu se obține o cloroză atît de vizibilă. Mg. e absolut

necesar și la fel N, aceste elemente intrînd în constituția clorofilei. În lipsa lor, clorofila se distruge.

La întuneric nu are loc o acumulare prea mare de protoclorofilă în organele plantelor. În mod normal, sinteza protoclorofilei e ușurată de faptul că ea se transformă în clorofilă, pe măsura formării ei.

D. I. Ivanovski a stabilit între anii 1907 și 1914 faptul important că spectrul de absorbție maximă a luminii, se deplasează în extracte apoase și alcoolice simțitor spre raze de lumină de lungime de undă mai mică, așa cum se vede în fig. 124. Din aceste observații, D. I. Ivanovski a

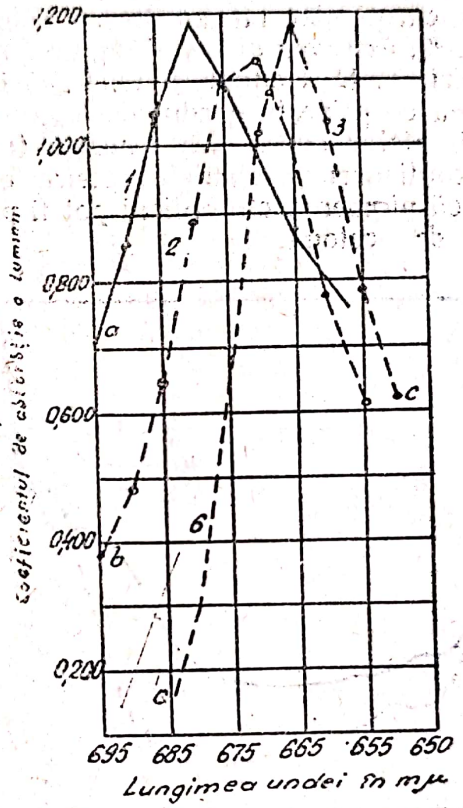


Fig. 124. Coeficientul absorbției luminii de clorofilă în soluția alcoolică în soluția coloidală 2, și în frunzele vii 1.

dedus că în frunzele vii, starea clorofilei este mai apropiată de aceea coloidală din soluțiile apoase, decît de aceea a soluției adevărate din extractele în alcool.

Starea pigmenților clorofilieni în cloroplaste.

V. N. Liubimenko a arătat în 1912 că în mod normal în cloroplaste pigmenții clorofilieni sînt combinați cu substanțele proteice. Extracții apoase din frunzele de Aspidistra se prezintă ca niște soluții coloidale cu însușiri asemănătoare cu acele ale substanțelor proteice. Ca și acestea, ele coagulează în mediul acid. Din frunzele uscate, e imposibil a extrage

pigmenți clorofilieni cu disolvanți organici. Extragerea lor reușește de îndată ce se adaugă o cantitate mică de apă, care e necesară la hidroliza între pigmenții clorofilieni și substanțele proteice. Spectrul de absorbție al pigmenților clorofilieni în starea lor naturală din frunză, diferă de acela din soluțiile în disolvanți organici. Așa cum se vede în fig. 125, spectrul de absorbție al clorofilei a în stare naturală, e deplasat spre stînga față de acela din soluția de acetonă. T. N. Godnev, A. N. Terenin, A. A. Krasnovski și A. O. Vecer au arătat ca numai o parte a pigmenților clorofilieni e legată în cloroplaste de substanțele proteice. A. S. Vecer a putut extrage cu soluția de acetonă 60%, numai 1/3 din pigmenții clorofilieni, iar pigmenții carotinoizi nu au trecut deloc în această soluție. Soluția de acestină 85%, extrăgea și restul pigmenților clorofilieni, precum și pigmenții carotinoizi. T. N. Godnev și O. P. Osipova au puse în evidență deosebiri în ceea ce privește gradul de legare al pigmenților clorofilieni în frunzele diferitelor specii. La frunzele tinere ei au arătat că unirea pigmenților clorofilieni cu substanțele proteice este relativ slabă, ceea ce rezultă din faptul că pigmenții clorofilieni pot fi puși în libertate cu soluții mai concentrate de acetonă.

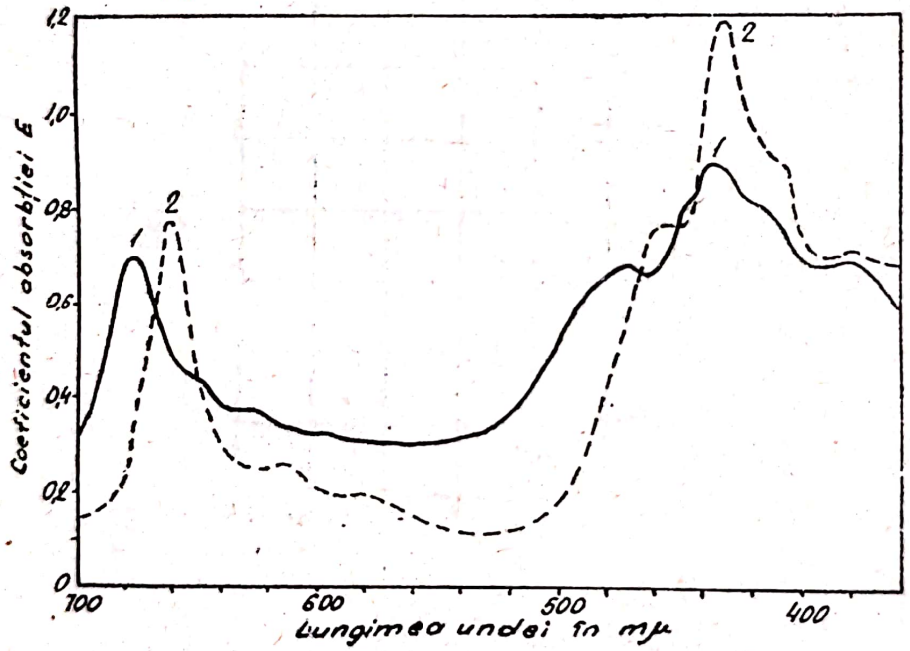


Fig. 125. Spectrul de absorbție al clorofilei a în lumina naturală și în extractul de acetonă 2.

Legarea pigmenților clorofilieni de substanțele proteice, nu se face într-o proporție atît de constantă ca a hemoglobinei. La aceasta pentru o moleculă de substanță proteică cu greutatea 66.000 corespund 4 grupări de hemoglobină. În cazul pigmenților clorofilieni, raportul față de substanțele proteice diferă relativ mult la diferitele specii. În medie, la o moleculă de substanțe proteice cu greutatea 17.000 corespund 3 pînă la 10 molecule de clorofilă și 15 pînă la 25 molecule de lipoizi. Cum au arătat O. P. Osipova și I. V. Timofeeva, posibilitatea substanțelor proteice de a lega pigmenți clorofilieni, crește cu gradul lor de reducere.

Reducînd substanțele proteice cu hidrogen, aceste cercetătoare au obținut o ridicare a gradului de legare a pigmenților clorofilieni. Lucrări efectuate de către Baas-Becking, T. D. Godnev și O. P. Osipova, au stabilit că clorofila e unită cu lipoidele și cu substanțele proteice. O. P. Osipova a arătat că mai ales substanțele proteice care conțin în molecula lor o cantitate mare de acizi dicarbonici, pot lega o cantitate mare de clorofilă. Prin blocarea grupărilor carboxilice din substanțele proteice, se scade puternic posibilitatea de legare a clorofilei. O lipsă a lucrărilor lui O. P. Osipova și T. N. Godnev, este aceea că ele au fost efectuate cu substanțe proteice din organele de rezervă, și nu cu cele din frunze. Prin izolarea substanțelor proteice legate de clorofila din frunze, s-a stabilit că aici participă substanțe proteice cu punctul izoelectric la pH cuprins între 3,7 și 4,9. Greutatea moleculară a acestei substanțe proteice este de 68.000.

A. A. Krasnovskii și G. P. Brin sînt de părere că în fotosinteză participă numai clorofila legată de complexul lipoidic proteic, care se găsește la suprafața cloroplastelor. Cantitatea de clorofilă ce se găsește în stare coloidală sau coagulată în interiorul granulului de clorofilă, reprezintă o stare de rezervă și trece numai în anumite condiții în stare activă, cînd participă la procesul fotosintezei. Godnev e de părere că clorofila e legată de grupările acide ale substanței proteice (zeină, glia-

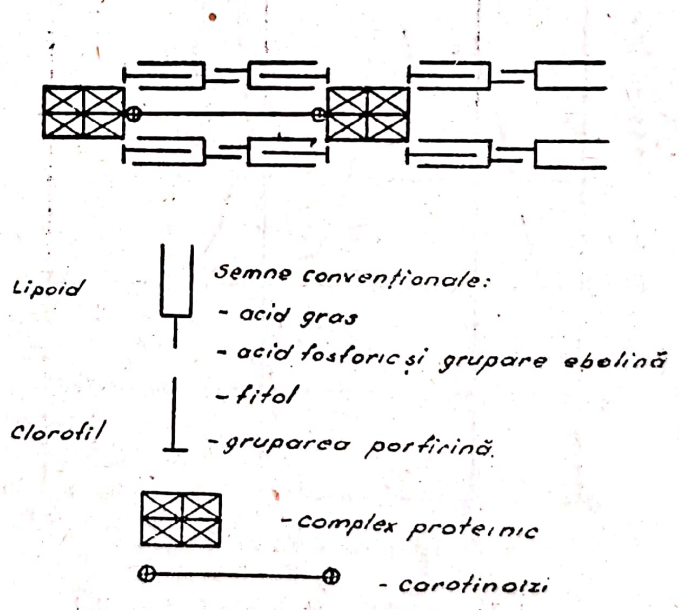


Fig. 126. Schema diferiților componenți ai cloroplastelor.

dină) prin valențele secundare ale atomilor de azot din nucleii pirolici. A. A. Krasnovski presupune posibilitatea legării pigmenților clorofilieni prin atomul de magneziu, cu grupările bazice ale substanțelor proteice (histidina). Legarea de substanțele lipoidice poate avea loc prin intermediul fitolului din pigmenții clorofilieni. În cloroplaste pigmenții clorofilieni se găsesc într-o combinație complexă cu substanțele proteice și lipoidice, ca în schema alăturată, fig. 126. Clorofila s-ar uni prin extremitatea sa cu grupările pirolice, din molecula substanței proteice. Cealaltă extremitate a sa, formată din fitol, s-ar uni cu substanța lipoidică.

Pigmenții carotinoizi s-ar găsi la mijlocul lanțului format din complexul lipoido-clorofilo-proteic.

Și bacterioclorofila se găsește în stare naturală deosebită de cea din soluție. A. A. Krasnovskii, K. K. Voinovskaia și L. M. Kosobuțkaia au arătat că spectrul de absorbție al bacterioclorofilei în stare naturală are trei maxime de absorbție, cuprinse între 800—900 mμ., în timp ce în soluția de piridină, ea are un singur maxim de absorbție, cuprins între 760—780 mμ., fig. 127.

Relația între cantitatea pigmenților clorofilieni și intensitatea fotosintezei, a fost cercetată mai ales de R. Willstätter. În genere nu se poate stabili o proporționalitate între cantitatea de clorofilă din frunză și intensitatea fotosintezei. Frunzele gălbui (aurii) asimilează cu aceeași cantitate de clorofilă, mai intens decît frunzele verzi ale aceleeași specii. Totodată, la frunzele gălbui intensitatea fotosintezei crește mai ales cu intensitatea luminii, în timp ce la frunzele verzi, intensitatea fotosintezei crește cu temperatură.

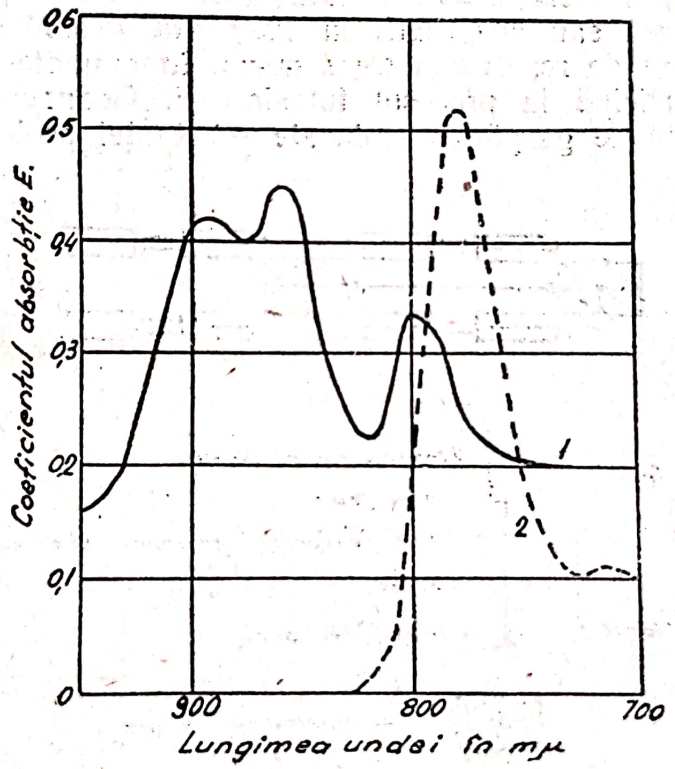


Fig. 127. Spectrul de absorbție al bacterioclorofilei 1, în stare naturală și 2, în soluție de piridină.

Cu o moleculă de clorofilă frunzele verzi de boz, asimilează pe oră 635 cm.³ CO_2, în timp ce cu frunzele gălbui asimilează 2500 cm.³ CO_2. La frunzele verzi de ulm, numărul de asimilare adecă CO_2 asimilat de 1 g clorofil, e cuprins între 7 și 10 în timp ce la frunzele gălbui ale aceleeași specii, el e cuprins între 72 și 82.

În decursul înverzirii frunzelor etiolate de fasole, numărul asimilației clorofiliene scade foarte mult paralel cu creșterea cantității de pigmenți clorofilieni în frunză, cum se vede în tabelă. In decurs de patru

zile, cantitatea pigmenților clorofilieni din frunze a crescut de 22 ori, în timp ce intensitatea fotosintezei a crescut numai de 2,2 ori. Numărul asimilației clorofiliene a scăzut prin urmare de zece ori.

Cantitatea clorofilei și intensitatea fotosintezei, la frunzele de fasole în decursul înverzirii după R. Willstätter

Tabel nr. 20

Durata expunerii la lumină a frunzelor etiolate	Culoarea frunzelor	Conținutul clorofilei în mg. la 10 g.	Fotosinteza în mg. CO_2 la 10 g /oră	Cifra asimilației
6 ore	galb. verzue	0,7	01	133
48 „	verde deschisă	8,0	192	24
96 „	verde	1,56	208	13,3

Astfel de cercetări arată că în afara pigmenților clorofilieni, în procesul fotosintezei mai intervine un alt factor, care probabil constă din acțiunea numeroaselor enzime oxido-reducătoare, cari își exercită (rolul) lor prin reacția de întuneric. Unii cercetători numesc acest al doilea factor „protoplasmatic".

Cantitatea de clorofilă la frunzele ombrofile și heliofile.

Frunzele ombrofile au cloroplaștii mai mari decît cele heliofile. Cantitatea de clorofilă e mai mare la frunzele ombrofile, astfel încît ele absorb mai puternic lumina. In acest mod plantele care cresc în păduri, aproape de sol, mai pot utiliza lumina slabă strecurată pînă la ele printre și prin frunzele copacilor.

M. I. Sidorin arată că absorbția razelor luminii difuze depinde de culoarea frunzelor. Frunzele de fasole de culoare verde închisă, absorb cele mai multe raze, notate cu 100 procente. Frunzele de culoare verde deschisă, absorb numai 88%, iar frunzele gălbui numai 45%.

Conținutul în clorofilă la o frunză cu o suprafață de 100 cm^2 este în medie de 4,5 mg. Greutatea moleculară a clorofilei a și b, este în medie de 900. Se poate calcula că la suprafața frunzei de 100 cm^2 corespund 3.18^{18} molecule de clorofilă. In condițiile unei intensități mari a luminii solare dela mijlocul unei zile de vară, corespunzătoare la 1,2 calorii cm^2 min., clorofila din frunză poate absorbi între 0,7—0,8 calorii dm^2 sec., sau $1,2—10^{10}$ fotoni dm^2 sec. Considerînd că la o suprafață a frunzei de 100 cm^2 îi corespund 3.10^{10} molecule de clorofilă, se poate calcula că fiecare moleculă de clorofilă trebuie să absoarbă în condițiile amintite patru fotoni pe secundă. La o intensitate medie a fotosintezei de 20 mg. $CO_2/dm.^2$ oră, îi corespunde pe secundă o asimilație de $7,5.10^{16}$ molecule $CO_2/dm.^2$ sec. sau de 130 ori mai puțin decît îi corespunde numărului fotonilor absorbiți în acest timp. Pentru reducerea unei mo-

lecule CO_2 pînă la nivelul din glucide e necesară o energie de aproximativ trei fotoni, ceeace reprezintă de 40—50 ori mai puțin decît absorbe frunza cu ajutorul clorofilei. Așa se explică dece randamentul energetic al fotosintezei este foarte mic, cuprins de obicei între 1—2% și depășind numai în cazuri rare 5% din lumina absorbită de pigmenții clorofilieni.

Din cele de mai sus rezultă că frunzele dispun de o abundență de clorofilă, astfel încît variațiile cantitative ale acesteia să nu influențeze simțitor intensitatea fotosintezei. În realitate însă lucrurile nu stau astfel. Așa cum rezultă din cercetările lui R. Willstätter și A. Stoll, frunzele de culoare verde închisă bogate în clorofilă, asimilează și în lumina puternică mai intens decît frunzele gălbui, cu conținut scăzut în clorofilă, fig. 91.

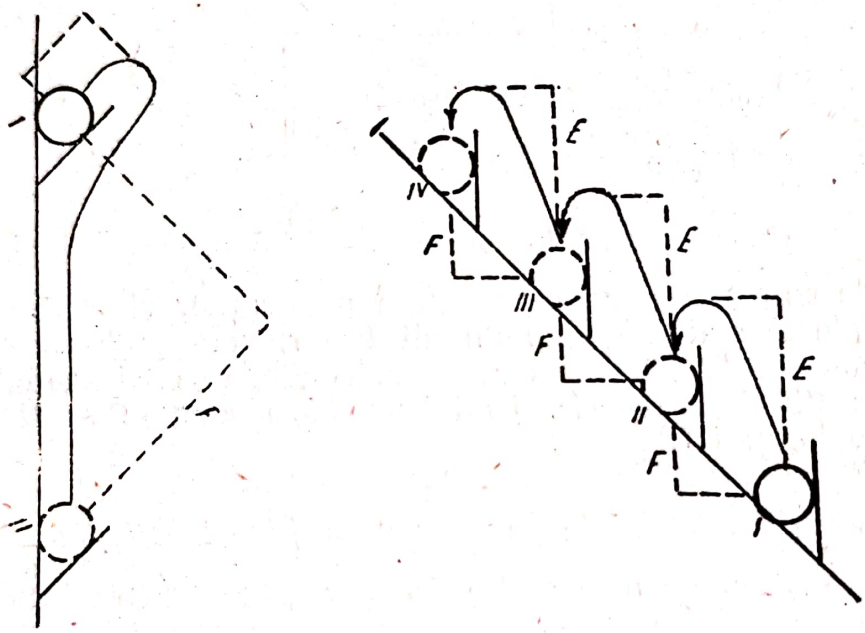


Fig. 128. Schema variației potențialului energetic A într'o reacție fotochimică obișnuită și B în fotosinteză (după A. A. Niciporovici)

Față de condițiile prielnice cum sînt: buna aprovizionare a plantelor cu apă și cu substanțe minerale, mai ales cele cu azot, plantele reacționează mărindu-și conținutul clorofilei în frunze, ceeace dă o culoare verde intensă frunzelor. În genere astfel de plante asimilează intens și produc o recoltă mărită.

Plantele crescute în condiții grele de aprovizionare cu apă și cu săruri minerale, conțin în frunzele lor o cantitate mai mică de clorofilă. Astfel de plante sînt adaptate la aceste condiții grele asimilînd bioxidul de carbon mai bine decît plantele ale căror frunze conțin o cantitate mare de clorofilă, cum a arătat A. S. Okanenko. În genere, astfel de plante, adică plantele cu frunzele gălbui dau numai în condiții neprielnice recolte mai mari decît plantele cu frunze colorate intens în verde.

Rezerva relativ mare de pigmenți clorofilieni în frunze, se poate explica în parte prin aceea că frunzele plantelor sînt adaptate să asimileze bioxidul de carbon și în condiții de lumină mai slabă, cum sînt de ex. primele ore ale dimineții și primele ore ale serii. Deasemenea ele pot îndeplini o fotosinteză cu mult mai intensă, ajungînd pînă la 100 mg.

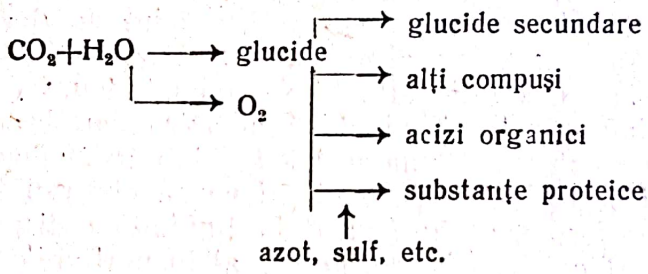
Scanned with OKEN Scanner

CO_2/dm.^{2} oră. Randamentul scăzut al fotosintezei, nu trebuie explicat prin aceea că numai unele quante din lumina absorbită sînt folosite în procesul fotosintezei, în timp ce altele nu sînt folosite deloc în acest proces ci sînt transformate în căldură, care încălzește frunzele provocînd o mărire a intensității transpirației.

S-ar putea ca toate quantele de lumină absorbită să provoace anumite reacții intermediare ale fenomenului fotosintezei, îndeplinind astfel un rol pozitiv. Considerentele de mai sus, pot avea unele aplicații practice în selecția și ameliorarea soiurilor. În condiții de mediu favorabile, soiurile cu frunzele intens colorate în verde sînt mai productive. În condițiile neprielnice ale mediului, pot fi mai productive soiurile cu frunzele gălbui.

Substanțele chimice produse în fotosinteză.

Pînă nu de mult, cercetătorii erau de părere că glucidele reprezintă produsele directe ale fotosintezei, iar toate celelalte substanțe din corpul plantelor se formează ulterior pe socoteala glucidelor, sub acțiunea diferitelor enzime. Această concepție se poate reprezenta prin următoarea schemă:



Pentru sinteza directă și unitară a glucidelor, în fotosinteză, se aduc următoarele argumente:

Amidonul apare relativ repede în frunzele expuse la lumină, iar prin reacții histochimice, se demonstrează depunerea sa în cloroplaste. Coeficientul fotosintezei, adică raportul între volumul de oxigen eliminat și volumul bioxidului de carbon absorbit, este egal cu 1.

$Qf = \frac{O_2}{CO_2} = 1$. Valoarea acestui raport, se poate explica cel mai ușor prin admiterea formării exclusiv a glucidelor în fotosinteză:

$$X\ (CO_2) + X\ (H_2O) \longrightarrow Cx\ (H_2Ox) + xO_2,$$

de unde

$$Qf = \frac{xO_2}{xCO_2} = 1.$$

Determinînd cantitatea CO_2 absorbită și cantitatea substanțelor organice produse în decursul timpului respectiv în fotosinteză, diferiți cercetători au stabilit relații apropiate de cele teoretice. Astfel F. N. Krașeninikov a obținut pentru relația dintre greutatea substanțelor organice produse și greutatea CO_2 asimilat, valori cuprinse între 0,60 și 0,75. În

medie el a obținut valoarea 0,654. Calculul arată că în cazul formării unei hexoze, se obține raportul 0,68, în cazul formării unui polizaharid ($C_6H_{10}O_5$), se obține raportul 0,61. Smith a determinat raportul între cantitatea de C asimilat și greutatea substanțelor organice produse, obținînd valoarea medie, $0,414 \pm 0,006$. Prin calcul se obține în cazul formării unei hexoze, cifra 0,40 în cazul formării unui dizaharid cifra 0,42 și în cazul formării unui polizaharid, cifra 0,44. Prin experiențele sale, Smith a arătat că 96,98% din carbonul asimilat, e folosit la sinteza glucidelor. F. N. Krașeninikov și H. A. Purievici, au stabilit cantitatea de căldură obținută prin arderea substanțelor organice formate în fotosinteză, obținînd valori apropiate de căldura de combustiune a glucidelor. Astfel F. N. Krașeninikov a obținut la un gram substanțe produse în fotosinteză, prin ardere 4378 cal. iar K. A. Purievici a obținut valori cuprinse între 3985 și 4682 cal. g. Căldura de combustiune a glucozei este de 3736 cal./gr., a zaharozei de 3943 cal./gr. și a amidonului de 4900 cal./gr.

Amidonul ca produs al fotosintezei.

In frunzele verzi se constată cu proba cu iod a lui Sachs, prezența amidonului. Frunzele culese dela lumină se țin cîteva minute în apă clocotindă (care omoară protoplasma ușurînd extracția clorofilei și transformă amidonul în clei de amidon care cu iodul dă o coloratie mai intensă) și se extrage apoi cu alcool sau acetonă toată clorofila din ele. Apoi se tratează cu o soluție diluată de iod în iodură de K. și dacă ele conțin amidon iau o coloratie închisă albastră sau brună, iar dacă nu conțin amidon se colorează numai foarte slab în galben de iod. Proba se poate face și histochimic, pe secțiuni ce se observă la microscop.

Amidonul se formează în frunze la lumină și dispare la întuneric. La frunzele panașate, el se formează numai în porțiunile verzi. Acoperind frunze verzi cu foițe de staniol în care tăiem anumite figuri, amidonul se formează numai în locurile iluminate. O experiență a fost făcută de Molisch cu un clișeu negativ obținînd apoi pe frunză cu proba de iod a lui Sachs, imaginea . Prin reacții histochimice se constată că amidonul se formează numai în interiorul cloroplastelor. Chiar la o algă unicelulară, iluminată parțial, Schroeder a putut să constate formarea amidonului numai în porțiunea iluminată.

Amidonul nu poate fi considerat ca prim produs al fotosintezei ci așa cum susținea J. Sachs, el este primul produs vizibil al fotosintezei.

Plante din familii diferite formează în acelaș timp și în aceleași condiții cantități diferite de amidon. Astfel Solaneele și Papilionaceele formează de obicei mult amidon în frunzele lor. Acestea se numesc plante amilifere. Alte plante ca unele Gentianacee și Iridee sintetizează numai puțin amidon, iar altele ca Allium, Scilla, numeroase alte Liliacee și Amarilidee, cum și unele Orchidee, nu formează deloc amidon în frunzele lor. Acestea se numesc plante zaharofile. Putem sili plantele zaharofile să producă amidon, dacă mărim concentrația zaharurilor din ele, ceeace realizăm mărind intensitatea fotosintezei prin îmbogățirea atmosferei cu CO_2, prin împiedicarea emigrării zahărului format în frunze, ceeace se realizează secționînd pețiolul, sau prin hrănirea frunzei cu o soluție concentrată de zahăr, de ex. ținînd frunzele zaharofile de Iris germanica pe o soluție de zaharoză 20%.

Scanned with OKEN Scanner

Se vede prin urmare că deosebirea între frunzele amilifere și zaharifere nu e tranșantă și că primele formează amidonul la concentrații mai mici ale zahărului din celule. Alți hidrați de C. ca manoza, galactoza, zaharoza, apoi alcooli ca manita, eritrita și sorbita, provoacă formarea amidonului în frunze. Chiar glicerina duce la formarea amidonului. Sinteza amidonului din glicerină, ne arată că din formarea amidonului din diferite substanțe, nu putem face nicio deducție asupra produselor intermediare în asimilația clorofiană, căci nu s-a putut niciodată constata formarea glicerinei în asimilația clorofiliană.

E greu de admis că în fotosinteză se produce de la început o substanță cu moleculă atît de mare ca a amidonului și care totodată e depusă sub formă cristalină în cloroplaste. Mai probabil e că se formează mai întîi substanțe intermediare mai simple și apoi acestea sînt condensate în amidon.

Prin experiențe, Kraus a arătat că la Spirogyra fotosinteza începe odată cu iluminarea în timp ce primele urme de amidon se pot pune în evidență abia după 5 minute de la începutul fotosintezei.

Zaharoza ca primul produs al fotosintezei.

Zaharoza se găsește de obicei în frunze, în cantitate relativ mare. Se constată peste o zi o acumulare a zaharozei în frunze, iar peste noapte o scădere a cantității ei. Aceste fapte ar dovedi că în fotosinteză s-ar forma zaharoză.

Alți cercetători au găsit cu metode histochimice, că în cloroplaste și în imediata lor vecinătate, monozaharidele sînt în mai mare concentrație. De aici ei trag concluzia că acestea ar fi sintetizate mai întîi iar zaharoza ar fi un produs trecător de rezervă.

W. O. Tauson (1947) a emis părerea că primul produs al fotosintezei e labil, conținînd grupări metilice sau metilenice, și că e mai redus decît glucidele. Aceste produs ar avea legături duble și ar fi capabil de a da forme enolice. Glucidele și celelalte substanțe organice din corpul plantelor, s-ar sintetiza cu ajutorul acestui produs primar labil.

Cei mai mulți cercetători admit ca produs intermediar în fotosinteză aldehida formică. Aceasta ar forma apoi prin condensare glucidele. Dar nici A. Baeyer și nici ceilalți cercetători nu au reușit să pună în evidență formarea aldehidei formice în plante, și nici să înlocuiască procesul fotosintezei prin nutrirea plantei cu aldehidă formică. În felul acesta ipoteza lui Baeyer nu a fost demonstrată.

Aldehida formică, prim produs al fotosintezei.

Baeyer a emis în 1870 o ipoteză după care primul produs al fotosintezei ar fi aldehida formică. Următoarele fapte experimentale vin în sprijinul ipotezei lui v. A. Baeyer. W. Löb a arătat că CO_2 și vapori de apă reacționează sub influența descărcărilor electrice încete, după schema lui v. A. Baeyer, producînd O_2 și H_2CO, dar se formează și aldehida glicerică $CH_2OH.CHOH-CHO$. Berthelot și Gaudechon au obținut același rezultat cu razele de lumină. Unii autori ca Bakorny, au arătat chiar o producere de amidon din H_2CO, la lumină, de plantele verzi. Aldehida formică poate fi utilizată de plantele verzi la lumină. Se pare însă că

la lumină, ea este oxidată mai întîi în acid formic și apoi acidul formic e oxidat în CO_2 și H_2O. Prin urmare ea nu ar duce la formarea de zahăr ci ar servi ca o substanță în respirație.

Mai însemnate sînt în această privință experiențele cari arată o creștere în greutate a plantelor verzi la întuneric, pe socoteala H_2CO cum au arătat Jacobi și Sabalitschka, dar astfel de experiențe trebuie repetate.

Chimistul rus Butlerov a obținut la H_2CO ținută în apă de var, o polemizare a CH_2O în $C_6H_{12}O_6$, iar apa de var s-a îndulcit în urma zahărului format.

Următoarele argumente sînt împotriva ipotezei lui v. A. Baeyer (1870): Din frunze nu s-a putut obține nici prin distilări în vid la 60°, H_2CO, ceea ce arată că acest produs nu există în frunze (Mazé). La această obiecție se răspunde prin aceea că aldehida formică fiind toxică, se prelucrează pe măsura în care se formează. Într-adevăr H_2CO e toxică în soluții apoase 1:20000-1:50000, și abia în proporția 1:200000 nu mai e toxică.

În frunze nu s-a putut constata o asimilare a H_2CO la lumină, nici chiar în prezența H_2. Plantele nu pot folosi CO ca sursă pentru carbon. Formarea H_2CO din CO și H_2O se face cu absorbție de multă energie și se susține de unii că ar fi greu de imaginat o urcare atît de mare și în mod brusc, a potențialului energetic.

Acizi organici ca prim produs al fotosintezei.

Liebig bazat pe faptul că în toate plantele verzi se găsesc acizi organici, susține că în fotosinteză se formează ca prim produs acidul oxalic. Această ipoteză pare puțin verosimilă, căci în acest caz s-ar emite mai puțin O_2 decît CO_2 absorbit:

$$4\ CO_2 + 2\ H_2O \longrightarrow 2\ \begin{matrix} COOH \\ | \\ COOH \end{matrix} + O_2 \qquad \frac{O_2}{CO_2} = 0{,}25 \text{ nu } 1$$

apoi molecula de acid oxalic acumulează numai 60 calorii.

După Liebig (1843) reducerea CO_2 se face treptat, formîndu-se mai întîi acizi organici (acid oxalic).

P. A. Kolesnikov e de părere că acidul glicolic ia parte în procesul fotosintezei. El a arătat că acest acid e răspîndit în frunzele verzi și ia parte la procesele de oxidare și reducere, cu participarea clorofilei.

Prin reducerea cu H se formează trioze, și tot de la el se formează și acizii organici și aminoacizii.

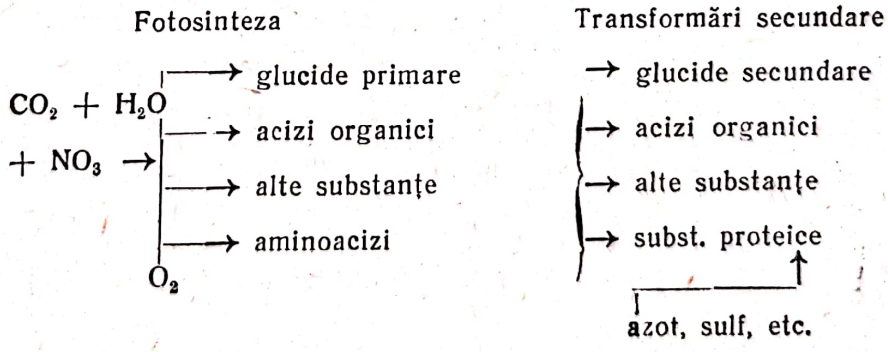
Bazîndu-se pe volumele egale ale CO_2 și O_2 produs în fotosinteză, cercetătorii mai vechi erau de părere că în fotosinteză se produc exclusiv glucide, iar celelalte substanțe organice din corpul plantelor ar fi apoi sintetizate cu ajutorul glucidelor, care ar servi atît ca material de construcție a moleculelor cît și ca sursă de energie în diferitele sinteze.

Împotriva acestei concepții, s-au ridicat tot mai mulți cercetători. V. V. Tauson (1950) a arătat imposibilitatea culturii în timp mai îndelungat a plantelor superioare la întuneric, pe medii nutritive cu glucide. Din aceste experiențe rezultă că plantele sintetizează la lumină și alte substanțe. V. V. Sapojnikov a arătat în 1890 că substanțele produse în

fotosinteză depind de nutriția minerală a plantelor. În condițiile unei rele aprovizionări cu săruri de azot, în fenomenul fotosintezei, se produc aproape exclusiv glucide. În cazul unei bune aprovizionări cu săruri de azot, se produc substanțe proteice pînă la 30% din totalitatea substanțelor organice, cum e cazul la frunzele viței de vie. În unele experiențe ale lui V. V. Sapojnikov, în care frunzele erau foarte bine aprovizionate cu săruri de azot, s-au produs exclusiv substanțe proteice în fenomenul fotosintezei. F. N. Krașeninikov a arătat de asemenea că glucidele produse în fotosinteză, reprezintă numai 50-75% din totalitatea substanțelor organice sintetizate de plante în fenomenul fotosintezei. După cantitatea de căldură produsă prin arderea substanțelor organice produse de frunze, el a arătat că în frunze nu se produc exclusiv glucide. Unele frunze ca de ex. cele de bambus și de tei, produc substanțe mai bogate în energie decît glucidele, în timp ce altele ca de ex. cele de tutun și de lauro-vișin, produc substanțe mai sărace în energie decît glucidele. În medie frunzele produc numai 2/3 glucide din totalitatea substanțelor, iar restul de 1/3 este reprezentat prin substanțe mai reduse și ca atare mai bogate în energie.

Argumentul cel mai hotărîtor, îl reprezintă însă, cercetările cu atomi marcați.

Benson și *Kalvin,* au arătat prin radioautograme la frunzele cari au asimilat $C^{14}O_2$, că atomul radioactiv C^{14}, apare după 10 secunde de ținere a frunzelor la lumină în acidul fosfogliceric în fosfatul diglicerin-acetonă, în fosfatul glucozei și al sedoheptulozei și în difosfatul hexozei și al ribulozei. După 1 minut, el apare în fosfatul acidului piruvic, în acidul malic, în acidul gliceric, în acidul glicolic, în zaharoză, alanină, serină și în acidul aspartic. După 10 minute, el mai apare și în acidul glutamic, fenil-analină, și în izoleucină. După noile cercetări, în fotosinteză se sintetizează mai multe substanțe primare, ca: glucidele primare, acizi organici, aminoacizi, și alte substanțe care dau naștere apoi prin transformări secundare la numeroase alte substanțe ce alcătuesc corpul plantelor. În mod schematic, substanțele produse în fotosinteză, se pot reprezenta în felul următor:



Prin multe experiențe, s-a dovedit sinteza substanțelor proteice în fenomenul fotosintezei. Astfel, Burstrem a ținut frunze de grîu în soluții cu cantități mici, și altele în soluții cu cantități mari de nitrați: Așa cum rezultă din tabela 21, fotosinteza decurge ceva mai intens la frunzele aprovizionate mai bine cu nitrați. Tot la acestea frunzele asimilează

o cantitate mai mare de nitrați. Așa cum se vede în tabela 22, mai ales în frunzele tinere se sintetizează în fotosinteză o cantitate relativ mare de alte substanțe decît glucidele.

Stabilind cantitatea de glucide formate în fotosinteză și cantitatea de CO_2 absorbită în acel timp de frunze V. V. Sepojnikov (1890) a ajuns la concluzia că se produc și substanțe proteice în proporție de 5%-35% față de C asimilat.

Asimilarea CO_2 și a nitraților din frunzele de grîu

Tabel nr. 21

Frunzele	Cantitatea de nitrați în sol	Intensitatea fotosintezei în g la g subst uscată a frunzelor 24 ore			NO_3 asimilat în g la g subst uscată 24 ore	Intensitatea luminii în lux
		C absorbit sub formă de CO_2	acumulat în glucide	în alte subst.		
mature	scăzută	0,061	0,099	0,002	0,002	9.000
în curs	normală	0,097	0,053	0,044	0,049	„
de creș-	scăzută	0,063	0,042	6,021	0,025	„
tere	normală	0,061	0,003	0,068	0,024	„
mature	scăzută	0,244	0,244	0,002	0,002	35.000
în curs	normală	0,266	0,231	0,035	0,055	„
de creș-	scăzută	0,203	0,141	0,059	0,105	„
tere	normală	0,221	0,084	0,137	0,045	„

Date mai sigure în această direcție s-au obținut cu atomi marcați. Astfel atomii marcați C^{14} (radioactivi), absorbiți de plante se găsesc în moleculele glucidelor, protidelor, și lipidelor. Cam 1/3 din $C^{14}O_2$ asimilat, trece în aminoacizi și cam $^1/_2$ trece în acid fosfogliceric. CO_2 radioactiv asimilat în fotosinteză trece în proporție de 70%-80% în eteri fosforici ai glucozei și ai acidului gliceric.

În genere fracțiunea de glucide nu depășește 60%-70% din C^{14} asimilat.

L. A. Nezgorova, ținînd frunze în $C^{14}O_2$ la lumină timp de 20 minute și extrăgînd apoi diferitele substanțe și fracționîndu-le cu diferiți reactivi, a constatat prezența carbonului radioactiv în substanțele proteice, mai ales la frunzele tinere, cum se vede la tabela 23. Ea a arătat că substanțele organice sintetizate de plante în fotosinteză, diferă la speciile diferite. Așa de ex. la frunzele de sfeclă și de cok-sacîz, cantitatea maximă de atomi marcați trece în substanțele proteice, în timp ce

la frunzele de fasole şi de mahorcă ea trece în glucide. Sinteza substanţelor organice diferă şi cu vîrsta frunzelor. La frunzele tinere, atomul de carbon marcat trece mai ales în substanţele proteice, dovedind că aceste frunze, sintetizează mai ales aceste substanţe.

Producerea în fotosinteză de către frunzele de grîu şi a altor substanţe decît glucidele

Tabel nr. 22

Frunze	Cantitatea NO_3 în sol	Substanţele produse în fotosinteză în %		Intensitatea luminii în lux
		glucide	alte substanţe	
mature	scăzută	97,0	3,0	9000
	normală	55,0	45,0	„
în curs de	scăzută	67,0	33,0	„
creştere	normală	4,2	95,8	„
mature	scăzută	99,0	1,0	35.000
	normală	87,0	13,0	„
în curs	scăzută	71,0	29,0	„
de creştere	normală	38,0	62,0	„

Răspîndirea C^{14} în substanţe produse în fotosinteza frunzelor de vîrste diferite

Tabel nr. 23

Frunzele de	Radioactivitatea % faţă de activitatea globală a extractului alcoolic			
	în protide		în glucide	
	frunze tinere	frunze adulte	frunze tinere	frunze adulte
mahorcă	87	56	10	39
porumb	83	53	3	40
sorg	73	72	10	24

O. P. Osipova a cultivat în ghivece fasole tratată la butonizare cu cantităţi diferite de azot, între ¼ normă şi 2¼ norme. După cinci zile a extras din cloroplastele frunzelor pe cari le-a analizat, o can-

titate mare de substanțe proteice, mai ales din clorplastele provenite de la plantele aprovizionate bine cu azot. In aceste cloroplaste, cantitatea de amidon, era relativ scăzută tab. 24.

Substanța uscată din cloroplastele izolate din frunzele de fasole (% față de substanța uscată)

Tabel nr. 24

Condițiile culturii	Clorofil	Azot total	Substanțe proteice	Amidon
$2^1/_2$ N	4,11	10,9	70,6	2,6
$^1/_4$ N în decursul experienței	2,17	8,2	26,2	29,6
$^1/_4$ N; cu 5 zile înainte analiză, s-a ridicat norma la $2^1/_2$ N	3,83	10,0	65,2	5,9

Cercetările cu atomi marcați, au arătat că 70-80% din atomul de carbon marcat (C^{14}) trece prin fotosinteză în esteri ai glucozei cu acidul fosforic și în acidul gliceric. Așa cum a arătat în 1952 N. P. Voskresenskaia, la frunzele de porumb, sinteza glucidelor are loc mai ales în razele roșii ale luminii, cu lungimea de undă 580-700 mμ în timp ce sinteza substanțelor proteice, are loc mai ales în razele albastre cu lungimea

Cantitatea de glucide, protide și acizi organici produsă de frunze în lumina roșie și albastră

Tabel nr. 25

Plante	Glucide		Protide		Acizi organici	
	Lumina roșie	Lumina albastră	Lumina roșie	Lumina albastră	Lumina roșie	Lumina albastră
Bumbac	25,57	12,36	22,00	36,91	1,98	3,79
Porumb	25,25	18,38	1,39	10,9	0,33	1,80

de undă de 450-575 mμ. Tot aici are loc în cantitate mai mare și sinteza acizilor organici. Se poate ca în fotosinteză să se sintetizeze substanțe foarte diferite iar acestea să fie transformate ulterior în glucide cari pot fi mai ușor depuse ca substanțe de rezervă trecătoare în frunze și de asemenea pot fi transportate mai ușor din frunză.

Scanned with OKEN Scanner

Chimismul fotosintezei.

Reacțiile care au loc în fotosinteză, nu sînt cunoscute. Cercetătorii sînt în genere de acord că fenomenul fotosintezei este complex, la îndeplinirea sa intervenind mai multe reacții de lumină și de întuneric. Aprecieri asupra numărului reacțiilor de lumină se fac pe baza teoriilor cuantelor, socotind pentru fiecare cuantă folosită în fotosinteză, cîte o reacție foto-chimică. Unii cercetători sînt de părere că ar avea loc trei sau patru reacții de lumină, însoțite de tot atîtea reacții de întuneric, alții sînt de părere că am avea de afăce cu opt reacții de lumină și tot atîtea de întuneric, iar alții sînt de părere că ar interveni 12 reacții de lumină și 12 de întuneric.

Neputîndu-se reproduce fenomenul experimental în afara celulelor vii, și necunoscîndu-se substanțele intermediare, ipotezele elaborate asupra chimismului fotosintezei, se bazează mai ales pe intervenția CO_2, a apei, a energiei de lumină și pe degajarea de O_2, în același volum ca și CO_2 absorbit. Următoarele ipoteze sînt considerate ca mai importante în explicarea chimismului fotosintezei.

Ipoteza lui v. A. Baeyer.

Baeyer presupunea în 1870 că energia luminii e folosită în fenomenul fotosintezei, la descompunerea moleculelor de CO_2 în oxid de carbon (CO) și în O.

$$C+O_2 \longrightarrow CO + O$$

Într-o fază următoare, oxidul de carbon rezultat, care e considerat ca un produs intermediar, este redus de atomii de hidrogen din molecula apei, în aldehidă formică, oxigenul apei punîndu-se în libertate, după reacția următoare:

$$CO+H_2O \longrightarrow CH_2O + O$$

Aldehida formică poate fi polimerizată după reacția lui Butlerov, în moleculele de glucide:

$$6\ CH_2O \longrightarrow C_6H_{12}O_6$$

Următoarele fapte experimentale vin în contrazicere cu ipoteza lui Baeyer: plantele nu pot să asimileze oxidul de carbon sau aldehida formică. Oxigenul degajat în fotosinteză, nu provine din CO_2, ci din molecula apei.

Ipoteza lui K. A. Timiriazev.

Spre deosebire de Reinke care atribuia clorofilei numai rolul pasiv de captare și predare a energiei de lumină, fără ca ea însăși să sufere vreo schimbare în molecula sa, K. A. Timiriazev (1871) atribuia clorofilei în afară de absorbția și redarea energiei, însușiri de reducere și oxidare a însăși moleculei sale. După părerea sa, clorofila ar avea două stări, una oxidată și alta redusă. El socotea că bioxidul de carbon

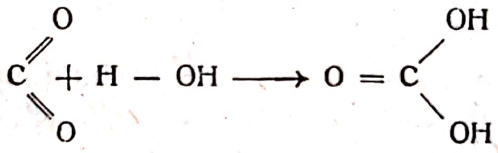
se disociază și se unește cu clorofila. Sub acțiunea luminii, are apoi loc o descompunere, care duce la punerea în libertate de oxigen, iar clorofila rămîne unită cu oxidul de carbon. Acesta intră în reacție cu apa, hidrogenul căreia reduce CO la CH_2O, iar oxigenul servește la regenerarea clorofilei. În ipoteza lui K. A. Timiriazev, apa are un rol activ. Schema lui Timiriazev e următoarea:

$$XO + CO_2 \longrightarrow XCO + O_2$$
$$XCO + H_2O \longrightarrow CH_2O + XO$$

După ipoteza lui K. A. Timiriazev, clorofile ar exista sub două forme opuse, una oxidată și alta redusă și ea ar participa nemijlocit în fenomenul fotosintezei.

Ipoteza lui A. N. Bach.

A. N. Bach (1893) a interpretat fotosinteza ca pe un proces oxido-reductor în care are un rol hidrogenul și hidroxilul apei. El dă următoarea schemă pentru fotosinteză:



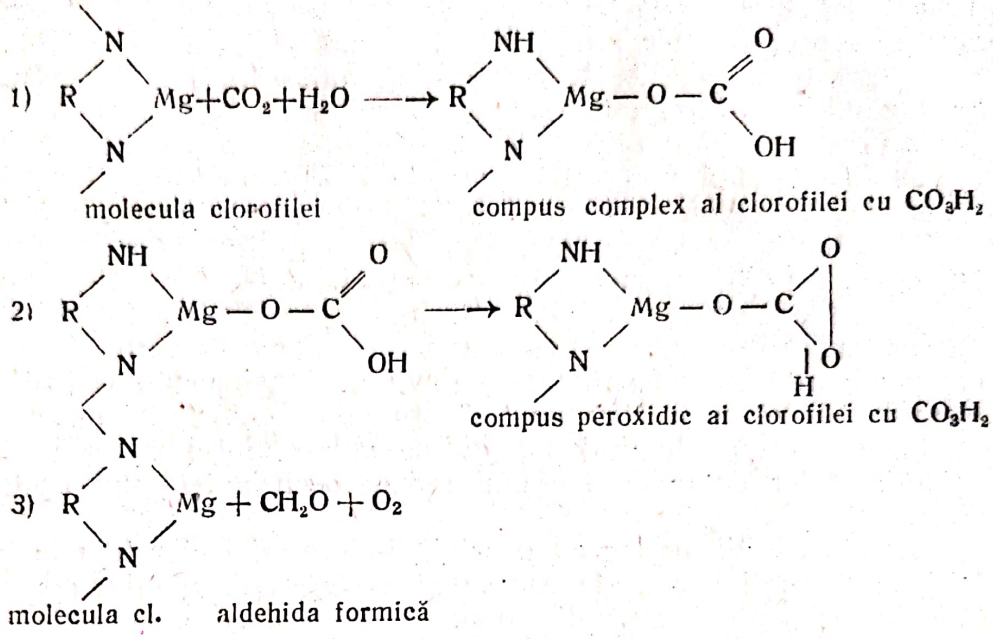
$$3\ H_2CO_3 \longrightarrow CH_2O + 2\ H_2CO_4$$
$$2\ H_2CO_4 \longrightarrow 2\,CO_2 + 2\ H_2O_2$$
$$2\ H_2O_2 \longrightarrow 2H_2O + O_2$$

În această schemă, apare CH_2O desfăcîndu-se din hidratul CO_2. Ca produs intermediar apare acidul percarbonic de natură peraxidică, $2H_2CO_4$. Acesta se desface la rîndul său, în bioxid de carbon și apă oxigenată. Oxigenul provine de la descompunerea apei oxigenate. În această schemă CO_2 apare ca un acceptor al H_2 iar ca donator de H_2 apare apa. Energia soarelui e utilizată la descompunerea apei. Ipoteza lui A. N. Bach după care O_2 provine din descompunerea apei, a fost verificată cu 60 de ani mai tîrziu, prin cercetările lui A. P. Vinogradov și R. V. Teis, cu atomi marcați. În schema lui A. N. Bach nu se arată rolul clorifilei în fotosinteză.

Ipoteza lui R. Willstätter (1918).

După această ipoteză, clorofila formează un compus complex cu molecula CO_2 și H_2O, totodată reducîndu-se unul din nucleii pirolici ai moleculei clorofilei cu H din H_2O. Această reacție ar fi de întuneric. Într-o etapă următoare, produsul complex format, suferă sub acțiunea energiei de lumină, o transformare în care atomii de oxigen se grupează sub formă peroxidică. Energia cuantei de lumină absorbită de clorofilă, e folosită pentru această transformare peroxidică. Reacția următoare este din nou de întuneric, și ea constă în desfacerea substanței

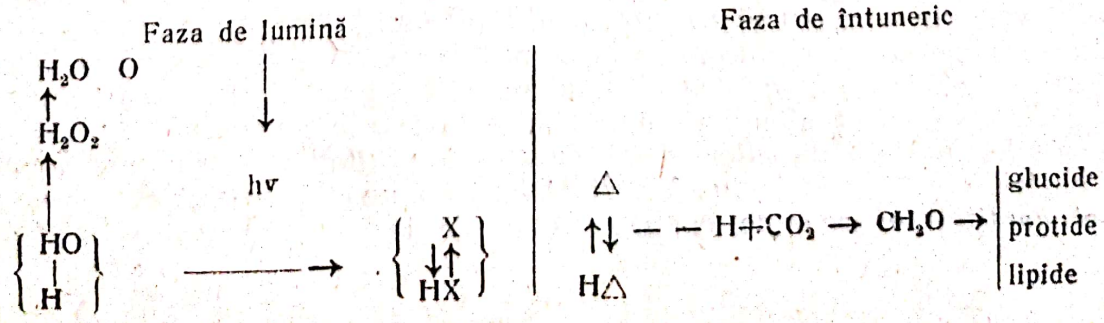
peroxidice complexe, în molecule de clorofilă, de CH_2O și de O_2. Molecula de clorofilă refăcută, poate intra din nou în reacție cu CO_2.



Față de ipoteza lui Baeyer, ipoteza lui R. Willstätter e mai avansată, deoarece ea ține seama de reacții de lumină și de întuneric precum și de rolul direct al clorofilei în fotosinteză. În zilele noastre și această ipoteză e depășită de cercetări.

În genere Wollstätter a prelucrat schema lui Baeyer asupra fotosintezei. Spre deosebire de Baeyer, el arată că în fotosinteză intervine clorofila, stroma vie a cloroplastului și protoplasma cu enzimele sale specifice. Partea slabă a ipotezei lui Wilstätter este aceea că nu s-a putut stabili o relație între cantitatea de clorofila și intensitatea fotosintezei. Recent s-a dovedit cu atomi marcați, că O_2 dezvoltat în fotosinteză provine din descompunerea apei și nu din CO_2 cum rezultă din ipoteza lui Willstätter.

A. N. Terenin e de părere că sub influența unei cuante de lumină molecula de clorofilă trece în stare de activitate chimică înaltă. După această schemă, fotosinteza ar decurge într-un stadiu de lumină și în altul de întuneric. În stadiul de lumină molecula de apă se descompune în H și apă oxigenată care apoi se desface în H_2O și O_2. Apa oxigenată se obține din ruperea moleculei de apă în H și OH. Dintre aceștia H trece la reducerea pigmentului clorofilian, iar cîte 2OH se unesc și formează apa oxigenată. În faza de întuneric, clorofila redusă pune în libertate H, care la rîndul său reduce CO_2 pînă la nivelul grupărilor CH_2O din molecula glucidelor.



In schemă intervin enzimele dehidrază, catalază, etc.

Schema lui Terenin a fost pusă în evidență la reducerea unor forme oxidate de grupări prostetice de către hidrogen, în prezența clorofilei reduse. Nu s-a reușit să se reducă și CO_2.

După teoria lui A. N. Terenin clorofila trece sub acțiunea cuantei de lumină absorbită, într-o stare de activitate superioară înaltă în care poate provoca reacții reversibile de oxidare și reducere. A. A. Krasnovski a pus în evidență reducerea reversibilă fotochimică a clorofilei sub acțiunea hidrogenului, acidului ascorbic, a acidului dioximaleinic, a cistinei, a hidrogenului sulfurat, și a fenilhidrazinei. Aceste reacții de reducere au loc în condiții anaerobe, în prezența luminii.

Clorofila poate sensibiliza la lumină reducerea fotochimică a mai multor substanțe chimice cu ajutorul acidului ascorbinic. Așa de ex. ea poate reduce safranina, riboflavina, difosfopiridinnucleotidul, cofermentul dehidrazei 1. Nici unul dintre aceste substanțe nu pot fi reduse în lipsa energiei luminii de hidrogenul acidului ascorbinic, deoarece potențialul lor de oxidare e mai scăzut decît potențialul acidului ascorbinic.

Aceste reacții au loc cu ușurință în prezența clorofilei la lumină, iar în lipsa luminii produsele reduse ale safraninei, riboflavinei și dehidrocodehidrazei se oxidează din nou.

La lumină are loc reacția: clorofilă+AN → clorofilă N+A. La întuneric are loc reacția clorofilă N+B clorofilă BN. Pe baza acestor fapte, Terenin e de părere că în fotosinteză, au loc reacții fotochimice și reacții de întuneric. Energia luminii ar interveni numai în reacția de oxidare a apei în apă oxigenată.

A. N. Terenin și colaboratorii săi susțin posibilitatea trecerii hidrogenului din molecula redusă a clorofilei, asupra grupelor prostetice ale mai multor dehidraze. Probabil că în celulele plantelor au loc reacții preliminare ale CO_2 în care acesta e fixat sub formă de grupări carboxilice și apoi acestea la rîndul lor sînt reduse cu ajutorul moleculei reduse de clorofilă. Probabil că acțiunea de reducere a grupărilor carboxilice, e ușurată prin fosforilare.

Transformări de energie în fotosinteză. Energia solară.

Transformările substanțelor chimice în fenomenul fotosintezei au loc paralel cu transformările de energie. Odată cu asimilarea CO_2, are loc în celulele verzi și o asimilare a luminii.

Soarele se găsește la 150.000.000 km. depărtare de pămînt. Masa sa e de 2×10^{27} T, iar diametrul său de 324.000 ori mai mare ca diametrul pămîntului. Temperatura soarelui la suprafață e de aproximativ 6000°C, iar în interior de aproximativ 20.000.000 grade C. Se calculează în interiorul soarelui o presiune de cîteva miliarde atmosfere. In astfel de condiții de temperatură și de presiune, atomii elementelor chimice nu se combină între ei, iar electronii învelișului atomilor se separă în întregime sau în parte de nucleul atomilor, putînd duce la reacții nucleare.

Astfel nucleii atomilor de hidrogen — protonii — se transformă în nucleii atomilor de heliu. Această transformare e însoțită de degajarea unei cantități enorme de energie; 1 g. de hidrogen pune în libertate

150.000.000 k. cal., o cantitate la fel de mare de căldură cu aceea obținută prin arderea a 15 tone benzină.

Pe secundă soarele iradiază 9×10^{22}K cal., adică o cantitate de energie corespunzătoare arderii a 11.000.000 miliarde tone de cărbune. Pe an soarele iradiază 3×10^{30}K cal., pierzînd totodată $1{,}57 \times 10^{14}$T. masă.

Datorită faptului că energia produsă de soare își are originea în reacții nucleare, rezerva energiei solare e enormă.

Din cantitatea totală de energie iradiată de soare, pămîntul interceptează abia a șasea miliardă parte, dar și aceasta reprezintă 180 bilioane kilovați.

Soarele execută pe pămînt o muncă egală cu 54 miliarde mașini cu aburi, fiecare avînd o putere de 400 cai putere, și care ar lucra necontenit zi și noapte.

Prin încălzirea corpurilor la temperaturi ridicate, acestea emit lumină mai întîi de culoare roșie închisă și apoi de culoare din ce în ce mai apropiată de culoarea galbenă sau albastră. Cu ridicarea temperaturii, se emite o cantitate tot mai mare de radiații cu lungimea de undă mică. Radiațiile emise de soare, au amplitudine maximă în dreptul lungimii de undă de 462 m μ Radiațiile emise de soare cu lungimea de undă mai mică de 250 m., μ fac parte dintre radiațiile ultraviolete invizibile. Radiațiile emise de soare care ajung pînă la pămînt, cuprinse între 720 m. μ și 4000 m., de asemenea sînt invizibile pentru ochiul nostru, ele făcînd parte dintre radiațiile infraroșii.

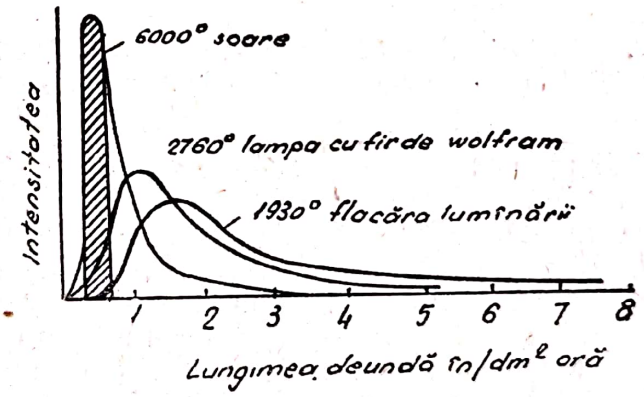


Fig. 129. Radiațiile emise de un corp încălzit la temperaturi diferite. Radiațiile vizibile sînt haşurate (după S I. Vavilov).

Analizînd radiațiile emise de o lumînare a cărei flacără are temperatura de 1930°, de becul electric cu fir incandescent de Wolfram, care are temperatura de 2760° și de soare, a cărui suprafață e de aproximativ 6000°, se constată o deplasare spre stînga a intensității maxime a luminii emise, paralel cu ridicarea temperaturii, fig. 1. Se cunosc diferitele unde electromagnetice care au lungime de undă diferită. Intre lungimea de undă 0,001 și 0,1 Angstrom, sînt situate radiațiile gama. Intre lungimea de undă 0,1 și 100 Angstrom, sînt situate radiațiile Roentgen. fig. 130. Radiațiile emise de soare, au lungimea de undă cuprinsă aproximativ între 100 Angstromi și 10^6 Angstromi. Radiații cu lungimea

de undă mai mare, sînt așa numitele unde de radio cuprinse între 0,01 cm. și cîteva sute de mii de metri.

Precum vedem, radiațiile emise de soare ocupă o zonă relativ îngustă din totalitatea radiațiilor cunoscute. Lumina vizibilă emisă de soare, ocupă porțiunea mijlocie a radiațiilor, situată între radiațiile ultraviolete cu lungimea de undă mai mică de 400 m.μ și infraroșii, cu lungimea de undă mai mare de 720 m μ.

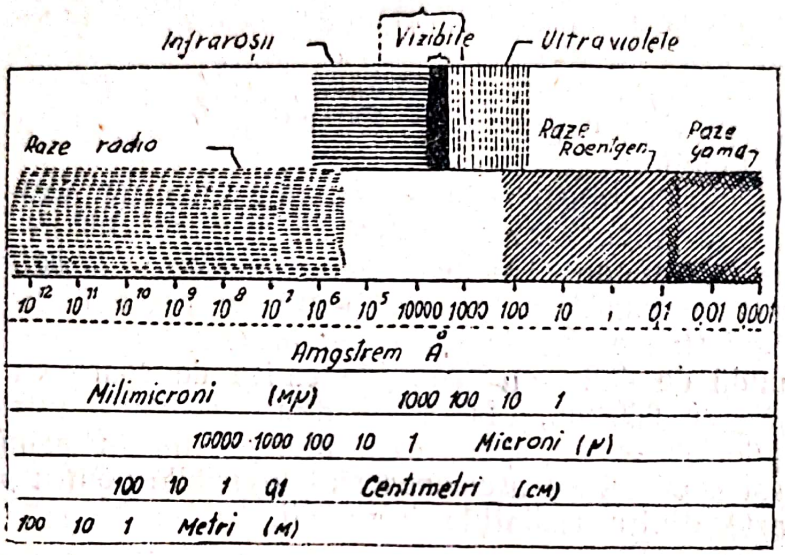


Fig. 130. Diferite radiațiuni electromagnetice cu lungimile respective de undă (după A. A. Niciporovici).

Energia luminii nu poate fi separată de materie, ci ea este un mod de existență a materiei. Fotonul reprezintă o stare a materiei, a cărei însușire de bază constă în mișcarea cu o viteză de 300.000 km. pe sec. În lipsa mișcării, fotonul nu poate să existe, astfel încît fotonul reprezintă o masă în mișcare. Natura materială a luminii, rezultă între altele și din faptul că razele de lumină în dreptul corpurilor cerești sînt puțin încovoiate spre acestea, ca urmare a legii atracției universale. Această curbare e relativ mică, din cauza masei mici a fotonilor. P. N. Lebedev a dovedit prezența masei într-un fascicol de raze de lumină pe cale experimentală, arătînd că acest fascicol căzînd asupra unei foițe metalice, provoacă o răsucire a unui fir subțire de cuarț.

Natura materială a luminii rezultă între altele și din faptul că un corp incandescent, pierde odată cu radiațiile și din masa sa. Astfel soarele pierde pe secundă 10^{26} calorii sub formă de radiații, dar în același timp el pierde și 5 milioane tone din masă. În decurs de un an, soarele pierde în total prin radiațiile de energie $1{,}6 \times 10^{14}$ tone. Din cauza masei enorme a soarelui, cantitatea materiei peirdute de el, este neglijabilă.

Pe suprafața pămîntului, cade în fiecare an o cantitate enormă de energie de la soare și anume 5×10^{20} K calorii. Odată cu această cantitate mare de energie, pămîntul primește prin întreaga sa suprafață, pe

an, 63.000 tone masă, cea ce la o suprafață de 1 ha. reprezintă abea 1 gr. pe an.

Cantitatea energiei solare se determină, transformînd-o în alte forme de energie de obicei în căldură și ea se poate exprima în calorii.

La limita superioară a atmosferei, intensitatea radiațiilor solare căzute perpendicular, este mai mult sau mai puțin constantă, egală cu 1,91 cal. cm²/min. Această valoare e numită constanta solară. În decursul străbaterii stratului de atmosferă a pămîntului, radiațiile solare sînt slăbite, ele fiind în parte absorbite și în parte difractate de moleculele de gaze, de apă și de praful atmosferei. Gradul de slăbire a radiațiilor solare de către atmosferă e cu atît mai mare, cu cît acestea străbat un drum mai lung prin atmosferă, ceea ce are loc la unghiurile de înclinație mai mici ale radiațiilor solare cu suprafața pămîntului, cum se vede în fig. 131. În cazul în care particulele ce provoacă difracția

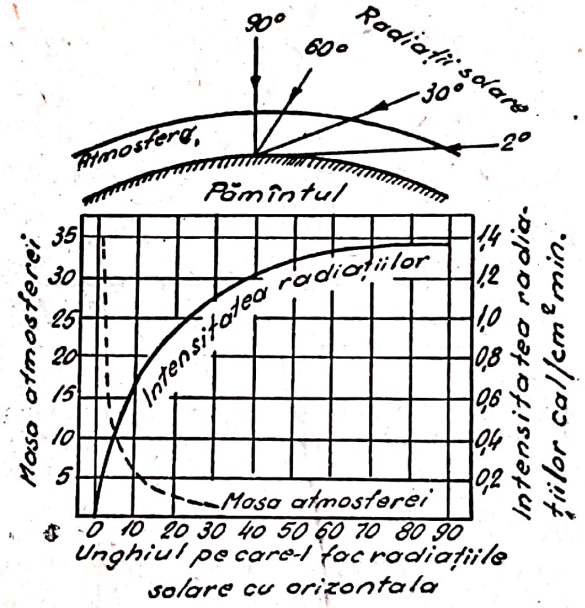


Fig. 131. Intensitatea radiațiilor solare și masa atmosferei străbătută de ele, la diferite unghiuri ale soarelui cu suprafața pămîntului (după N. N. Kalatin).

radiațiilor, sînt mai mici de cît lungimea de undă a radiațiilor, sînt mai puternic difractate radiațiile cu lungimea de undă mică, cum se vede în fig. 132. Așa de exemplu radiațiile cu lungime de undă de 300 mμ sînt difractate de 30 ori mai puternic ca cele roșii, iar radiațiile albastre-violete, de 4—5 ori. Din această cauză cele mai multe radiații utra-violete, și albastre-violete, emise de soare, nu ajung pînă la suprafața pămîntului. Tot din această cauză, cerul apare albastru și soarele galben.

Picăturile de apă rețin mai puternic radiațiile cu lungimea de undă mai mare. Din această cauză aerul umed și mai ales norii rețin o mare parte din radiațiunile infra-roșii și pe un astfel de timp la suprafața pămîntului ajung relativ puține din astfe de radiații.

La mijlocul unei zile senine de vară, pe suprafața pămîntului cad 1,2-1,3 cal./cm² pe minut, sau 7900 cal./dm² oră, sau 930,000 erg./cm² secundă, sau 0,093 wat./cm². Radiațiile active în fotosinteză, cu lungimea de undă cuprinsă între 400 și 720 m μ, reprezintă 40-50% din radiațiile totale ale soarelui căzute pe suprafața pămîntului.

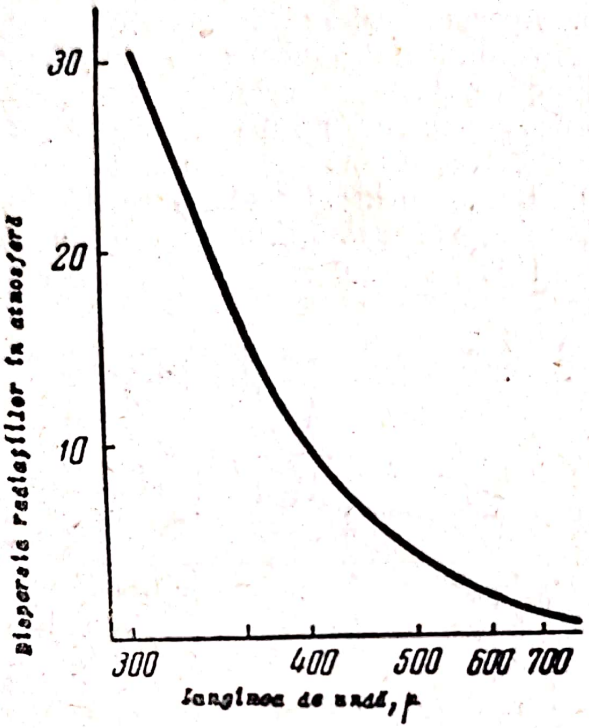


Fig. 132. Dispersarea radiațiilor solare de diferite lungimi de undă în parcursul prin atmosferă (după N. N. Kalitin).

Radiațiile emise de soare au lungimea de undă cuprinsa între 4000-250 m μ. Acestea se răspîndesc în univers cu viteza de 300.000 km. pe sec. sau $3 \times 10^{14} \mu$ pe sec. După viteza lor, după legile reflecției și ae refracției, radiațiie solare se aseamănă cu undele electromagnetice de radio. Fenomenele de direcție, interferență și polarizație, de asemenea arată caracterul de unde ale radiațiilor solare. Radiațiile de lumină, au însă și alte însușiri.

Dacă radiațiile de lumină ar avea însușirea unui curent neîntrerupt și uniform, cum rezultă din teoria ondulatorie a luminii, atunci decolorarea substanțelor colorate sub acțiunea luminii, ar trebui să aibă loc instantaneu. În realitate însă, lumina decolorează substanțele treptat, într-un timp îndelungat. Acest fapt se explică prin aceea că lumina nu acționează sub formă de curent continu, ci sub formă de cantități mici, care pe rînd acționează asupra moleculelor colorantului.

O lege a fotochimiei arată că numai radiațiunile absorbite pot provoca reacții fotochimice și că viteza reacției fotochimice e proporțională cu cantitatea energiei luminii absorbite. Cu alte cuvinte, cantitatea substanței intrate în reacția fotochimică Q, este proporțională cu intensitatea I a luminii absorbite și cu timpul de iradiere.

$$Q = K. I. t.$$

Factorul K depinde de natura reacției fotochimice. El se determină după cantitatea de substanță transformată sub acțiunea unității de energie absorbită.

Din lumina căzută asupra unui corp, o parte este reflectată, o parte absorbită și o parte străbate corpul. Putem deci scrie: $I = R + A + T$ în care I reprezintă lumina incidentă R, cantitatea luminii reflectate, A, cantitatea luminii absorbite, și T cantitatea luminii ce străbate corpul. Pentru același corp, raportul între cantitatea luminii absorbite și incidente este constant la diferite intensități de lumină (legea lui Lambert).

$$K = \frac{A}{I}$$

Coeficientul de absorbție a energiei solare de frunze se determină după cantitatea totală de energie solară ce cade pe o frunză, din care se scade energia radiată, reflectată de frunze și aceea trecută prin frunză. K. A. Timiriazev a arătat că o frunză de arțar, de tei și de stejar absorb 27%, 29% și 23,5% din energia solară, iar K. A. Purievici a găsit la diferite frunze o absorbție a energiei solare de 18-27%.

N. N. Kalitin a găsit următoarele valori pentru energia solară reflectată, absorbită de frunză și pentru aceea care străbate frunza.

Frunza de:	Radiații reflectate %	Radiații absorbite %	Radiații care trec prin frunză %
Acer	22	39	32
Populu	49	24	34
Tilia	33	27	40

N. N. Kalitin a arătat că frunzele reflectă o bună parte din razele invizibile, infraroșii, pe care nu le folosesc în fotosinteză. Razele vizibile sînt absorbite într-un procent mai mare. Din radiațiile totale căzute pe frunza de arțar, se absorb aproximativ 39%, se reflectă 29%, și străbat frunza 32%. Din radiațiile vizibile se absorb 82%, se reflectă 5-12% și străbat frunza 5-8%. Cu alte cuvinte, din radiațiile de lumină, proporția razelor absorbite de frunze crește de aproximativ 2 ori în raport cu radiațiile totale ale soarelui iar a razelor reflectate și a celor de străbat frunza, scade de 3 ori. Cu vîrsta frunzelor, scade procentul razelor absorbite, din cauza îmbătrînirii cloroplastelor și a clorofilei.

Reacții fotochimice sensibilizate.

Pentruca reacția fotochimică să aibe loc, e nevoie ca molecula să absoarbă o cuantă hv. Dacă însă v este situat în afara benzilor de absorbție atunci nu are loc nici absorbția luminii și nici reacția fotochimică. În acest caz reacția fotochimică e posibilă dacă se adaugă o substanță care absoarbe radiațiunile respective și care transmite apoi surplusul

de energie prin ciocniri, moleculelor substanței cercetate. Pentru realizarea lor e necesar ca întîlnirea moleculei substanței cu ale sensibilizatorului, să se producă mai înainte ca acestea din urmă să piardă energia lor suplimentară prin radiație fluorescentă, sau într-alt mod. De aceea condiția necesară pentru acțiunea sensibilizatorului este dată de posibilitatea ciocnirilor destul de frecvente între moleculele sensibilizatorului și acele ale substanței respective, adică o presiune destul de mare. Exemplu: iradiind cu raze cu lungimea de undă de 2537 A, O_2 nu reacționează cu H_2, căci nici O_2 și nici H_2 nu absorb aceste raze. Adăugînd vapori de Hg. reacțiunea are loc, căci aceștia absorb bine aceste radiațiuni:

$$Hg + h\nu \longrightarrow Hg+ \text{ - - - atom de mercur excitat.}$$

$$Hg+ + H_2 \longrightarrow HgH + H+ \quad \text{sau} \quad Hg+ H_2 \text{ - - - } Hg + 2\,H$$

$$2\,H+ + O_2 \longrightarrow H_2O_2.$$

Fotosinteza se pare că este o reacție sensibilizată.

Conform celui de al doilea principiu al termodinamicei, care se aplică și la reacțiile fotochimice, numai o parte din lumina absorbită e transformată în energie chimică, restul pierzîndu-se sub formă de căldură. Așa de ex. la următoarele reacții fotochimice, randamentul a fost stabilit de O. Warburg:

1. $3\,O_2 \longrightarrow 2\,O_3$ randamentul de 50 %
2. $2\,H\,Br \longrightarrow H_2 + 2\,Br$ „ „ 18 %
3. $2\,H\,I \longrightarrow H_2 + I_2$ „ „ 2,1%

Utilizarea energiei solare de frunze se determină după energia absorbită de frunză și energia utilizată efectiv în fotosinteză.

Purievici s-a servit pentru acest scop de bombe calorimetrice, în care a determinat cantitatea de căldură produsă de 1/2 frunză prin arderea ei dimineața și arderea altei 1/2 de frunză seara (metoda jumătăților de frunze). El a găsit la Acer platonoides randamentul 0,6—2,7% la Helianthus annuus 4,5% iar la Polygonum sacchalinense 1,1—7,7%.

Cifre asemănător de mici se obțin și cu alte metode, măsurînd intensitatea fotosintezei după O_2 produs sau CO_2 absorbit și determinînd cantitatea luminii absorbite de frunză.

K. A. Timiriazev a arătat că plantele utilizează în fotosinteză numai 1% din energia totală primită de o suprafață însămînțată. Date recente au arătat că în condiții optime această valoare se ridică pînă la 2,5% în cazurile mai rare pînă la 5%. Sarcina de seamă a fiziologilor și a agronomilor este de a mări acest procent.

Cea mai mare parte din razele de lumină absorbite de frunze, se transformă în căldură, care provoacă o transpirație mărită.

Randamentul mic de folosire al luminii în fotosinteză, cuprins între 3-5%, se datorește în parte faptului că lumina zilei cuprinde multe radiațiuni invizibile, de ex. radiații ultraroșii, neutilizate de plante. În lumina solară directă, razele ultraroșii, sînt cam 40%, iar în lumina difuză a zilei, ele sînt 20%.

Scanned with OKEN Scanner

În experiențe cu lumină monocromatică, randamentul fotosintezei e cu mult mai mare, ex. de 40% și chiar 60%, căci în acest caz, lipsesc radiațiunile neutilizate.

O. Warburg a determinat randamentul fotosintezei la o cultură deasă de Chlorella, în lumină portocalie-galbenă. Experimentînd cu alga submersă, el a eliminat transpirația, precum și ridicarea temperaturii algelor. Cultura deasă a absorbit în întregime lumina, ceea ce a ușurat de asemenea calculul. El a ajuns la rezultatul că alga Chlorella transformă în lumină slabă, cam 70% din lumina absorbită în energie chimică, iar la lumină mai intensă, randamentul scade tot ai mult. Randamentul acesta de 70% e bun, căci la reacții fotochimice obișnuite, el nu depășește 50%.

Einstein (1905) enunțînd ipoteza cuantelor de lumină, a indicat o lege foarte simplă, valabilă pentru procesele (primare) fotochimice: fiecărei cuante hv absorbite, îi corespunde transformarea unei molecule, care a absorbit cuanta de lumină (legea echivalenței).

Demonstrarea acestei legi se poate face numai la acele reacții, la care procesele secundare (reacții chimice de întuneric) nu au loc sau sînt separate de reacțiile primare (fotochimice). Legea lui Einstein a fost demonstrată de O. Warburg în 1916, la descompunerea H Br. Această reacție decurge după formula:

$$2\,H\,Br + hv \longrightarrow H_2 + Br_2$$

adică la fiecare moleculă de H Br, îi corespunde o cuantă.

Rolul efectelor secundare este destul de mare, mai ales în procesele care decurg vehement. Așa de ex. procesul $H_2 + Cl_2 \rightarrow 2HCl$, e însoțit de explozie, la el numai desfacerea moleculei de Cl_2 este primară:

$$Cl_2 + hv \longrightarrow Cl + Cl \quad \text{proces primar.}$$

$$\left.\begin{aligned} Cl + H_2 &\longrightarrow HCl + H \\ H + Cl_2 &\longrightarrow HCl + Cl \end{aligned}\right\} \text{procese secundare.}$$

Lanțul unui astfel de proces poate fi foarte lung de peste un milion de verigi, pînă cînd o impuritate oarecare, sau peretele vasului, interceptează atomul de Cl pus în libertate și întrerupe astfel lanțul. Lanțul se întrerupe și prin introducerea unei substanțe avide de Cl (ca acceptor sau acaparator), care face ca reacția să decurgă lent, fără explozie.

Prin arderea unui gram de glucide, se obțin aproximativ 3,75 K cal. Prin arderea unui CH_2O cu greutatea moleculei 30, se obțin 112 K. Cal. $(3{,}75 \times 30)$—CH_2O reprezintă nivelul reducerii CO_2 în molecula glucidelor. Un mol cuante $6{,}06 \times 10^{73}$ sau fotoni ai razelor roșii de lumină cuprins între 650 și 680 $m\mu$, corespunde aproximativ la o energie de 40 K cal. Cum la reducerea CO_2 la CH_2O trebuește o energie de 112 K cal., rezultă că pentru reducerea unei molecule de CO_2, pînă la nivelul CH_2O din molecula glucidelor, trebuesc 3 cuante sau 3 fotoni de raze roșii de lumină. Pe cale experimentală, s-a demonstrat că la reducerea unei molecule de CO_2, plantele absorb între 8 pînă la 12 cuante de lumină. În condițiile unei lumini slabe, O. Warburg a stabilit că alga Chlorella absoarbe între 3 și 4 cuante de lumină la reducerea unei molecule de CO_2.

Scanned with OKEN Scanner

La reducerea une imolecule CO_2, sînt necesari 4 atomi de hidrogen.

$$CO_2 + 4\,H \longrightarrow (CH_2O) + H_2O$$

Cei patru atomi de hidrogen, provin din descompunerea a 4 mol. de apă:

$$4\,H_2O \longrightarrow 4\,H + 4\,OH$$

$$4\,OH \longrightarrow 2\,H_2O + O_2$$

Desfacerea hidrogenului din molecula apei reclamă probabil o cuantă, iar pentru obținerea celor 4 atomi de hidrogen, sînt necesare 4 cuante.

$$4\,Cl + 4\,h\nu \longrightarrow 4\,Cl^+$$

$$4\,Cl^+ + 4\,H_2O \longrightarrow 4\,ClH + 4\,OH$$

$$4\,OH \longrightarrow 2\,H_2O + O_2$$

în care hv reprezintă energia unei cuante, Cl clorofila în stare obișnuită, Cl^+, clorofila în stare excitată, care a absorbit o cuantă. Presupunînd că la ruperea unei legături între H și O în vederea mobilizării atomului de H, trebuie trei cuante de lumină roșie iar la reducerea unei molecule CO_2 trebuie patru atomi de hidrogen, atunci se poate stabili că pentru reducerea unei molecule de CO_2 trebuie în total 12 cuante de lumină. Numeroși cercetători susțin că fenomenul fotosintezei are loc pe baza teoriei a 12 cuante de lumină roșie la reducerea CO_2, cu ajutorul apei, pînă la nivelul său din glucide (CH_2O).

Cu ajutorul fotonului absorbit, molecula clorofilei trece după Terenin în stare excitată („de biradical") în care formă poate sta timp de 0,1 sec. In decursul acestui interval scurt de timp, energia absorbită de clorofilă trebuie predată la reacția fotosintezei, altfel molecula excitată de clorofilă, pierde energia sub formă de căldură, sau sub formă de fluorescență, în mediul înconjurător.

Randmentul cuantic al fotosintezei se stabilește de obicei la o lumină de intensitatea 0,01 cal. cm^2/min. sau 0,0002 cal cm^2/sec. In acest caz, în decurs de 0,1 sec., cît durează starea de excitare a clorofilei, o suprafață a frunzei de 1 cm^2 absoarbe 3×10^{14} fotoni. In cazul existenței mecanismului fotosintezei la care sînt necesare 12 cuante pentru reducerea unei molecule CO_2, 3×10^{14} molecule clorofilă trebuie să absorbă în decurs de 0,3 sec. fiecare 3 fotoni, și trebuie să le predea la $3{,}10^{14}$ molecule de apă, sau de alte substanțe intermediare de oxidare. Astfel 3×10^{14} molecule de apă, primind cîte 3 cuante de energie, sînt suficiente pentru ruperea a 3×10^{14} legături O-H și să mobilizeze 3×10^{14} atomi de hidrogen pentru reducerea CO_2.

Suprafața frunzei de 1 cm^2 despre care am presupus că absoarbe în decurs de 0,1 sec. 3×10^{14} fotoni, conține o cantitate mai mare de clorofilă și anume aproximativ $6{,}7\times10^{16}$ molecule de clorofilă, adică de 220 ori mai multe molecule de clorofilă, decît e numărul fotonilor absorbiți în decurs de 0,1 sec. De asemenea și numărul moleculelor de apă corespunzătoare suprafeței de 1 cm^2 frunză, este cu mult mai mare decît numărul fotonilor absorbiți. In felul acesta este posibil ca fiecare moleculă de apă, să obțină în timp scurt de la moleculele de clorofilă

cele trei cuante de energie necesare ruperii legăturii între O și H. Dacă o moleculă de apă a absorbit numai o singură cuantă de energie, atunci aceasta se pierde după 0,1 sec. și totodată se pierde și starea de excitare a ei. Este puțin probabil ca plantele să folosească un astfel de mecanism al fotosintezei, în care clorofila să predea în mod succesiv mai multe cuante de energie uneia și aceleiași substanțe. Este mai probabil, un astfel de mecanism, în care molecula clorofilei care a absorbit o cuantă de energie, intră în reacție cu molecula unei substanțe oarecare predîndu-i ei această cantitate de energie, oxidînd-o sau reducînd-o printr-o reacție unicuantică.

Numai în experiențele efectuate în lumină slabă roșie s-a obținut un randament relativ mare al fotosintezei, corespunzător cu 4 cuante de lumină la reducerea unei molecule de CO_2. Cu creșterea intensității luminii, randamentul cuantic al fotosintezei scade fiind necesare 12 sau chiar mai multe cuante de lumină. Chiar la acest randament, ținînd seama de faptul că la reducerea unui gr. mol. CO_2 trebuie o cantitate de energie de 112 cal., din lumina absorbită de frunză, 19% poate fi efectiv folosită în fotosinteză. Presupunînd că frunza absoarbe aproximativ 2000 cal. pe dm^2 oră, poate avea loc o fotosinteză intensă, de aproximativ 150 mg. CO_2 pe dm^2 oră. De aici se poate calcula o recoltă biologică posibilă corespunzătoare unei creșteri zilnice a substanței uscate cu 900 kg. la ha.

Numărul reacțiilor de lumină în fotosinteză.

Pentruca moleculele de CO_2 să recționeze cu moleculele de H_2O, trebuie să le dăm energie, de ex. prin încălzirea lor la cîteva sute sau chiar mii de grade. Plantele folosesc energia luminii, care nu constă dintr-un fel de curent continu, ci dintr-o succesiune de doze mici (șocuri) de energie de lumină numite cuante. În celulele verzi, cuantele trebuie să lucreze numai în locuri foarte precise ale legăturilor dintre C O și H O și nu asupra tuturor moleculelor din celule și nu asupra tuturor legăturilor dintre atomii care le alcătuiesc.

Lumina nu se răspîndește uniform în substanța respectivă, ci în unele puncte ea e concentrată, în altele ea lipsește.

Plantele folosesc în fotosinteză radiațiunile vizibile, mai ales pe cele roșii. Dar nici moleculele de CO_2 și nici cele de H_2O nu pot absorbi aceste radiațiuni. Plantele absorb radiațiuni de lumină cu ajutorul clorofilei și le trec apoi asupra moleculelor de CO_2 și H_2O. Plantele verzi au un aparat datorit căruia slăbesc legăturile dintre atomii de C și O și H și atomii se grupează într-o formă nouă, contra afinității dintre atomi și urcînd potențialul termodinamic.

În reacțiile obișnuite de fotochimie, moleculele reacționează între ele dînd reacții mai stabile, exoterme adică, în afară de energia luminii absorbită, mai pun în libertate și o parte din energia inițială potențială. Comparînd în fig. 128 A, mingea cu o moleculă, atunci cuanta se poate compara cu energia care ridică mingea peste obstacole din I, ceea ce face posibil ca ea să se rostogolească în jos, consumînd din energia potențială și ajungînd în situația mai stabilă din II. La majoritatea reacțiilor fotochimice, energia luminii, intervine ca un impuls, care înlă-

Scanned with OKEN Scanner

tură piedica spre reacția exotermă. Energia luminii absorbită e și ea transformată în căldură, ca și o parte din energia potențială.

In fotosinteză energia cuantelor de lumină absorbită, nu e consumată, ci conținută în produsul reacției, iar procesul merge cu ridicarea potențialului termodinamic. Procesul întreg merge în salturi succesive, fiecare salt reprezentînd o anumită reacție fotochimică (fotoact).

Fig. 128, B, reprezintă procesul fotosintezei. Energia luminii absorbite, E. ridică mingea din I în IV, trecînd prin etape succesive II și III. O bună parte din energia luminii absorbite, se găsește în substanța chimică produsă în fotosinteză. Fiecare salt de potențial energetic, corespunde unei anumite reacții fotochimice, la îndeplinirea căreia e nevoie de o cuantă.

In afara reacțiilor de lumină, mai sînt și numeroase reacții de întuneric, reacții enzimatice, al căror număr se socotește egal cu al reacțiilor de lumină.

La reacția : $6\ CO_2 + 6\ H_2O \xrightarrow{\text{energie}} C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2$

Molecula de glucoză conține 674 Cal, ceea ce înseamnă că la un atom de C_1H_1OH din molecula glucozei corespund 112 Cal. In procesele fotochimice, pentru fiecare moleculă ce reacționează trebuie o cuantă.

In fotosinteză, pentru reducerea unei molecule de CO_2, trebuiesc de 2 ori pînă la de 4 ori mai multă energie decît cea corespunzătoare unei cuante

(37 - - - - - - - 62
r. roșii raze albastre)

De aici se deduce că în fotosinteză sînt mai multe reacții (4-8) fotochimice succesive, fiecare necesitînd cîte o cuantă.

Cei mai mulți cercetători sînt de părere că în fotosinteză intervin 8-12 reacții succesive, cari necesită 8-12 cuante, pentru reducerea unei molecule de CO_2 pînă la nivelul din glucide.

Lumina are însușiri, atît de unde electromagnetice, cît și de particule cu energie (fotoni).

Energia fotonului depinde atît de mărimea particulului cît și de energia sa de mișcare.

Intre cantitatea de energie a fotonului denumită și cuantă (E) și între lungimea de undă (λ) și frecvența vibrațiilor (v), a razelor de lumină, este o legătură determinată, exprimată prin formula :

$$E = \frac{c \cdot h}{\lambda}$$

în care E este valoarea cuantei, C este viteza de propagare a luminii, H= constanta lui Plank, în valoare de $6{,}62 \times 10^{-27}$ erg/sec. λ reprezintă lungimea de undă. sau $E = h.\ v = 6{,}62 \times 10^{-27}\ c$ erg $= 6{,}62 \times 10^{-27}\ v$ erg. Din aceste relații, rezultă că valoarea energetică a cuantei e invers proporțională cu lungimea de undă și direct proporțională cu frecvența vibrațiilor.

Reducerea unei molecule de CO_2 pînă la nivelul din molecula glucozei CHOH necesită 112 calorii, adică 3 coeficienți Einstein din radiații roșii și 2 coeficienți Einstein din radiațiile albastre. Experiențele au arătat însă că pentru asimilarea unei molecule de CO_2 sînt necesare 8-10 cuante. De aici rezultă că în fotosinteză au loc 8-10 reacții fotochimice diferite.

Pentru reducerea unui gram moleculă CO_2 (44 gr. sau 44.000 mg.), plantele folosesc efectiv 112 kg. calorii, sau 112 cal. pentru asimilare a 44 mg. pînă la nivelul reducerii CO_2 din molecula glucidelor. La o intensitate medie a fotosintezei de 20 mg. CO_2 și la 1 dm^2/oră, plantele asimilează o cantitate de energie de 51 cal. În acest caz, plantele folosesc abia 0,05% din energia solară căzută asupra lor.

Fotosinteza și recolta.

Recolta plantelor de cultură constă în proporție de 90-95% din substanțe organice a căror origine trebuie căutată în fenomenul fotosintezei. Restul de 5 pînă la 10% din recoltă e format din substanțe minerale.

În genere, recolta se exprimă în greutatea substanței, uscate produse de plante, pe o suprafață de cultură de 1 ha. într-un an. Exprimînd recolta în substanță proaspătă, se pot produce unele confuzii. Așa de exemplu, la sfecla de zahăr, la o recoltă de 30 t. la ha. rădăcini, îi corespund numai 10 tone de substanță uscată.

Deosebim o recoltă biologică, reprezentată prin cantitatea totală de substanță uscată, acumulată de plantele cultivate pe un ha.

În practică însă, prezintă un interes deosebit numai substanțele acumulate în organele valoroase ale plantelor. Această parte valoroasă a recoltei, se poate numi recoltă agricolă. În cazul grîului prin recoltă biologică, înțelegem greutatea uscată a paelor, boabelor și a plevei recoltate la un ha., în timp ce prin recolta agricolă, înțelegem numai boabele recoltate la un ha.

Analizînd diferitele elemente chimice cari alcătuiesc substanțele chimice ale recoltei, constatăm că procentul cel mai ridicat, 45%, e reprezentat de carbon. Urmează oxigenul care intră în proporție de 42%, hidrogenul, cu 6,55% și azotul cu 1,5%. Toate celelalte elemente la un loc, abia formează 5% din substanța uscată. Pentru producerea unei recolte globale de 10 tone la ha., plantele asimilează 110 kg. azot, 25 kg. fosfor, 100 kg. potasiu, 300-500 kg. din alte elemente minerale și 4.500 kg. carbon. Această cantitate mare de carbon, e introdusă în corpul plantelor sub formă de CO_2, în cantitate de 16-17 tone.

Presupunînd că aerul conține în medie 0,5 g. CO_2 la m^3 și că plantele asimilează în decursul perioadei de vegetație 20 tone CO_2, ele trebuie să absoarbă CO_2 din 40 milioane m^3 aer, adică dintr-un strat de aer de 4000-4800 m. deasupra unui ha.

În agricultură, recolta se evaluează nu prin cantitatea substanței uscate produse de o singură plantă, ci prin aceea produsă de totalitatea plantelor cultivate pe un ha. De aceea trebuie avut în vedere, nu atît creșterea și productivitatea unei plante izolate, ci asociația plantelor de cultură, cultivate pe suprafața respectivă. Creșterea și dezvoltarea unei plante este optimă, în cazul semănăturilor foarte rare cum se vede în

Scanned with OKEN Scanner

fig. 133. Astfel de semănături deosebit de rare, produc însă recolte mici la ha. Prin îndesarea semănăturilor, creșterea plantelor e mai redusă, fiecare plantă în parte ajungînd la o greutate mai mică, așa cum arată graficul 2 din fig. 133. Recolta la ha. însă, crește cu desimea semănăturilor pînă la un grad oarecare, apoi rămîne cîtva timp constantă, și scade la semănături deosebit de dese, cum arată graficul 3 din fig. 133.

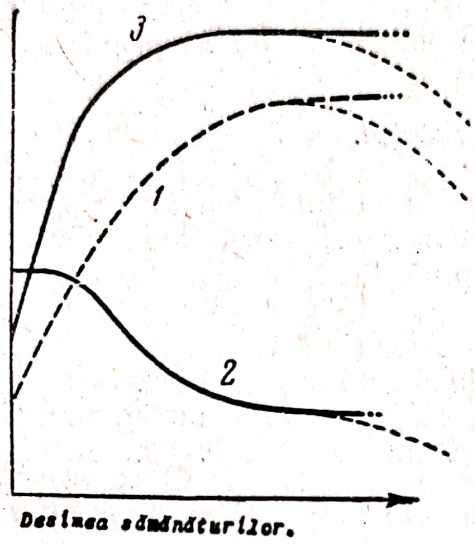


Fig. 133. Relația între desimea semănăturii (1), greutatea medie a unei plante (2), și recolta la, unitatea de suprafață (3), (după A. A. Niciporovici).

Odată cu desimea semănăturilor crește suprafața frunzelor. Numeroase determinări ale intensității fotosintezei, au arătat la diferite plante de cultură, că intensitatea fotosintezei la unitatea de suprafață, este aproximativ aceeași, cuprinsă între 12-20 mg. CO_2/dm^2 oră sau 6-12 g. substanță organică asimilată de 1 m^2 frunză în decursul unei zile.

Variația recoltei sub influența desimii semănăturilor, se atribuie variației suprafeței foliare a frunzelor. În genere, recoltă maximă se obține la culturi neirigate în cazul în care suprafața frunzelor plantelor depășește de 20 ori suprafața terenului respectiv. În cazul culturilor irigate și tratate cu îngrășăminte, recolta maximă se obține la o suprafață totală a frunzelor mergînd pînă la de 40 ori suprafața terenului respectiv. În toate aceste cazuri, dezvoltarea individuală a plantelor din cultură este mai mică decît a unei plante cultivate izolat. În tabela 26 sînt trecute valorile suprafeței frunzelor unei singure plante, a tuturor plantelor de pe un hectar, recolta biologică și recolta agricolă la cîteva din principalele plante de cultură.

Recolta biologică şi agricolă la diferite plante

Tabela nr. 26

Planta	Suprafaţa frunzelor unei plante	Numărul plantelor în mii la 1 ha.	Suprafaţa frunzelor în mii m² la 1 ha.	Recolta agricolă sute kg/ha.	Recolta biologică (subst. uscată) t/ha pe an.
Grîu de primăvară	0,5—0,75	4000	20 — 30	12 — 15	3,5 — 4,0
Porumb p. boabe	50 — 60	40	20 — 30	25 — 30	4,0 — 5,0
Porumb p. siloz	60 — 70	40	25 — 30	200 — 300	3,0 — 5,0
Floarea soarelui p. boabe	50 — 60	50 — 60	25 — 40	15 — 20	3,0 — 4,0
Floarea soarelui p. siloz	60 — 70	60	40 — 50	200 — 300	3,0 — 5,0
Cartof	50 — 60	40 — 50	25 — 30	200	5,0 — 6,0
Sfecla de zahăr	30 — 60	100	30 — 60	250	5,0 — 7,0
Dovleac	1000 — 2000	2,0 — 2,5	20 — 50	200 — 300	3,0 — 4,0
Pădure de foioase	—	—	30 — 75	—	4,0 — 6,5
Ierburi pentru furaj	—	—	40 — 50	20 — 30	2,5 — 4,0

Relaţia între fotosinteză şi recoltă, poate fi exprimată prin următoarea formulă:

$$\text{Rec. val.} = \frac{(S \cdot 0{,}1 \cdot F \cdot dz \times K\ )\ 1{,}2 - - - - - - n \times K \text{ rec, val.}}{10^5}$$

în care,

n, reprezintă numărul zilelor perioadei de vegetaţie.

S, reprezintă suprafaţa frunzelor semănăturilor în fiecare zi, în m^2 la ha.

F, reprezintă intensitatea fotosintezei în decursul perioadei de vegetaţie, în fiecare zi, în mg. CO_2 la dm^2/oră.

Dz, reprezintă durata fiecărei zile, în ore.

Kf, reprezintă coeficientul fotosintezei efective (cantitatea recoltei corespunzătoare la CO_2 absorbit, = O,5-O,55).

K. rec. val., reprezintă coeficientul recoltei valoroase, = 0,3 înmulţit cu substanţa organică globală sintetizată în fenomenul fotosintezei.

Rec. val., reprezintă partea preţioasă a recoltei în sute de kg. substanţă uscată la hectar.

Coeficientul recoltei valoroase are uneori valori mai mici. Aşa de ex. pe timp de secetă scade la grîu mai ales cantitatea de boabe, ceea ce face să scadă coeficientul recoltei valoroase la 0,2, 0,1 şi în unele cazuri chiar la 0, astfel că recolta de boabe e complect compromisă.

Scanned with OKEN Scanner

Din formula de mai sus rezultă că recolta depinde mai ales de suprafața frunzelor, de intensitatea fotosintezei, de coeficientul recoltei valoroase.

Analizînd suprafața frunzelor în decursul perioadei de vegetație la o cultură de cartofi, se constată o creștere a ei pînă la mijlocul lunii august fig. 134, după care are loc o scădere a ei, datorită mai ales uscării frunzelor inferioare. Neregularitatea creșterii suprafeței frunzelor între 30 VI și 14 VIII se datorește unei lipse de apă trecătoare. Analizînd acumularea substanțelor uscate în tuberculi și în partea aeriană a plantelor de cartofi, A. G. Lorch, fig. 135, a arătat că acumularea globală a substanțelor organice în întregul corp al plantelor, decurge în mod continu după curba 1 din fig. 135, observîndu-se o scădere numai la începutul toamnei. Același lucru se constată și în ceea ce privește acumularea substanțelor organice, în partea aeriană a plantelor. La tuberculi, acumularea maximă a substanței uscate, are loc mai ales între 31 VII și 25 VIII, după care ea scade simțitor.

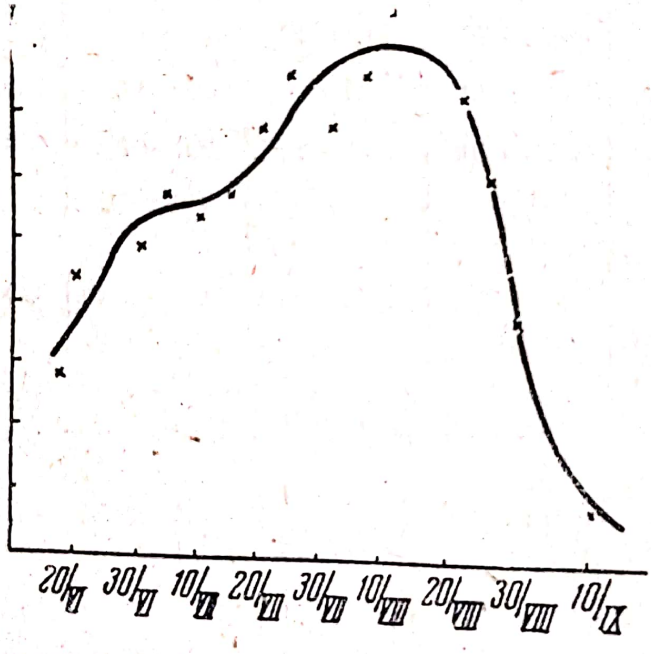


Fig. 134. Schimbarea suprafețelor plantei din cartof in decursul vegetației (după A. A. Niciporovici).

L. E. Strojanova, a determinat intensitatea fotosintezei frunzelor de cartof în decursul perioadei de vegetație, precum și acumularea zilnică a substanței uscate, arătînd că aceste două fenomene merg paralel. Totodată, se constată un mers paralel și cu productivitatea netă zilnică a fotosintezei.

V. A. Alexeenco și A. P. Vasiva, au analizat creșterea suprafeței frunzelor în decursul perioadei de vegetație, acumularea zilnică a substanței uscate, în perioada dintre formarea paiului și coacerea în lapte, precum și productivitatea zilnică a fotosintezei și recolta biologică și agricolă a grîului de primăvară, în condițiile culturilor neirigate — irigate cu două udări, și tratate cu îngrășăminte cu fosfor și azot — și

Recolta la grîu

Tabel nr. 27

Suprafața frunzelor în mii m²/ha	Experiența de Control	2 n	2 n P. N.	3 n P. N.
La înfrățire 23.V.	0,31	0,33	0,65	0,71
La formarea spicului 26 VI.	8,30	13,50	23,00	22,00
La coacerea în lapte 13—19.VII.	4,25	14,50	26,50	25,50
Substanța uscată acumulată pe zi între formarea paiului și coacerea în lapte kg./ha.	110	163	268	259
Productivitatea fotosintezei în g/m² pe zi	12,9	12,0	11,6	11,6
Recolta în t/ha boabe	1,12	2,49	3,36	3,28
paie	2,24	4,73	6,72	7,34
Total	3,36	7,22	10,[illegible]	10,66
Relația între boabe și paie	1 : 2,0	1 : 1,9	:2,0	1 : ,25
Coeficientul economic	0,33	0,34	0,31	0,30

irigate de trei ori și tratate cu îngrășăminte cu fosfor și azot. Așa cum arată tab. 27, suprafața frunzelor este mai mare în condițiile de irigare

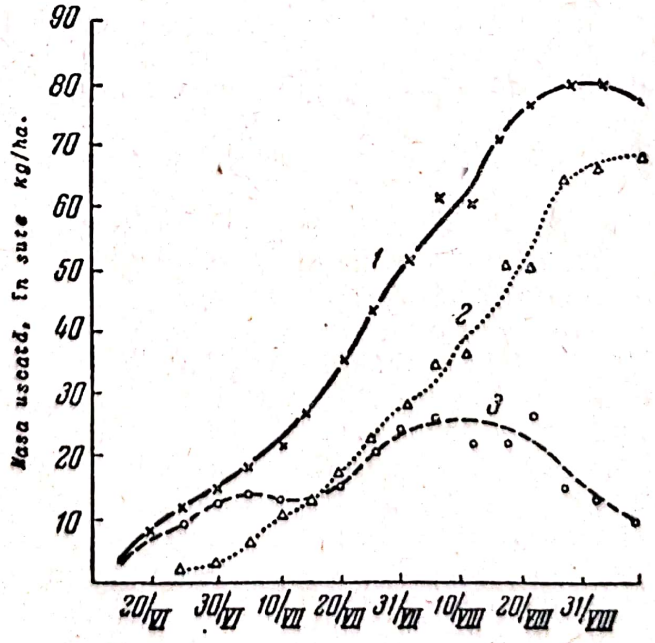


Fig. 135. Acumularea substanței uscate în decursul vegetației 1, a recoltei globale, a tufelor 2, și 3, a tuberculilor (după A. G. Lorch).

și de tratare cu îngrășăminte chimice. În acest caz, suprafața mărită a frunzelor, se păstrează mărită pînă la sfîrșitul perioadei de vegetație, pe cîtă vreme la cultura neirigată, suprafața începe a scădea relativ de vreme, prin uscarea frunzelor inferioare. Sporul mărit al recoltei culturii irigate, se detorește mai ales suprafeței mărite a frunzelor obținute prin semănături mai dese. Relația între recolta valoroasă și recolta globală, se păstrează 1:2 în cazul administrării a două udări și a îngrășămintelor chimice cu P și N, și crește puțin, la 1:1,9 în cazul administrării numai a două udări, fără îngrășăminte chimice. Ea scade și mai mult, la 1:2,25 în cazul administrării a trei udări și a îngrășămintelor chimice.

O mărire a desimii plantelor duce la o creștere a recoltei, numai în cazul în care prin măsuri agrotehnice bune și mai ales prin irigații și prin administrare de îngrășăminte chimice, se asigură o bună aprovizionare cu săruri minerale și cu apă a plantelor. Numai în aceste cazuri, e de recomandat semănarea mai deasă a plantelor de cultură.

Relația între fotosinteză, transpirație și recoltă.

Relația dintre intensitatea fotosintezei, intensitatea transpirației și productivitatea plantelor, poate fi exprimată prin coeficientul economic al transpirației, adică prin cantitatea de apă eliminată de plante în timpul producerii unui gram de substanță uscată. Valoarea coeficientului economic al transpirației la diferite plante de cultură, e cuprinsă între 350-700. Uneori, coeficientul economic al transpirației ajunge la valori mari, pînă la peste 1000, iar alte ori el are valori mici, pînă la 100. Valorile mari ale coeficientului economic al transpirației, se obțin în condiții neprielnice vieții plantelor, mai ales în anii secetoși. Valorile mici ale acestui coeficient, se obțin în condiții bune de viață a plantelor, mai ales în anii ploioși. La stațiunea experimentală Moara Domnească, s-a obținut la diferite soiuri de cereale în vara anului 1954, cînd precipitațiile erau de coeficienți economici ai transpirației mai mari decît în vara mai ploioasă a anului 1955, cînd precipitațiile erau de

La un coeficient economic al transpirației de 400 și la precipitații anuale de 500-7000 mm., se poate calcula o recoltă biologică de 7-9 tone la ha.

În genere plantele de cultură folosesc în transpirație aproximativ jumătate din apa de precipitație a unui an.

De obicei, în condițiile unei aprovizionări rele cu apă a plantelor, scade intensitatea creșterii acestora; și ca urmare, scade și suprafața frunzelor, ceea ce duce la scăderea recoltei. Acest lucru se întîmplă mai ales cînd seceta e timpurie. În cazul unei bune aprovizionări cu apă a plantelor în prima fază a vegetației, are loc o creștere intensă a plantelor, și formarea unei suprafețe mari foliare. În cazul acesta, o secetă apărută în cea de a doua fază vegetativă, provoacă pagube mari, deoarece din cauza suprafeței mari a frunzelor, rezerva de apă din sol se epuizează repede în urma transpirației intense, iar plantele fiind adaptate la condițiile unei bune aprovizionări cu apă, nu suportă această secetă. În genere se recomandă astfel de măsuri agrotehnice, cari duc la o micșorare a coeficientului economic al transpirației. Peste o anumită limită însă, nu e recomandabil să se scadă coeficientul economic al

transpirației, deoarece în condițiile unei transpirații prea slabe, se ridică prea mult temperatura frunzelor, ceea ce are ca urmare o scădere a intensității fotosintezei. În genere se recomandă măsuri agrotehnice care duc la acumularea și la păstrarea apei în sol. De asemenea trebuie urmărită obținerea desimii optime a semănăturilor, în care plantele folosesc optim energia luminii, apa și elementele minerale din sol, în care se formează timpuriu o suprafață foliară rațională. De asemenea, trebuie urmărită ridicarea intensității fotosintezei și a productivității ei.

Relația între suprafața frunzelor și regimul de lumină al semănăturilor

Am văzut că de obicei, intensitatea fotosintezei raportată la unitatea de suprafață a frunzelor e relativ constantă la diferite plante de cultură, tabela 26 p. 267.

De aici rezultă că putem interveni asupra recoltelor, cel mai eficace prin mărirea suprafeței foliare a plantelor de cultură, ceea ce se obține în practică prin culturi mai dese. În această direcție, nu putem

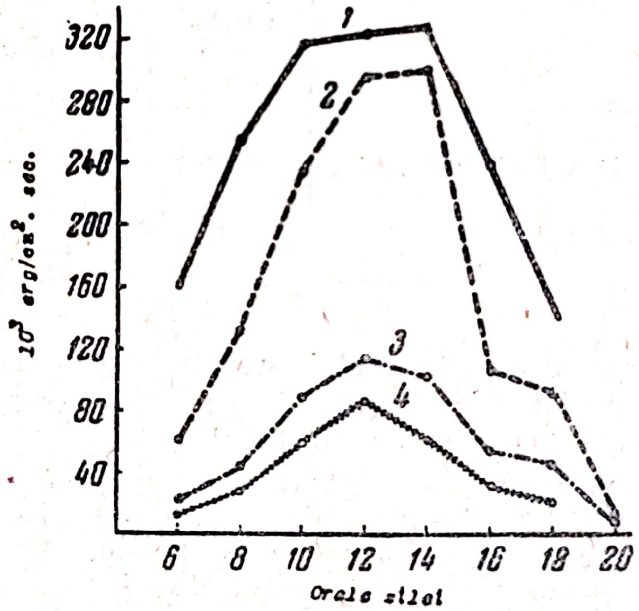


Fig. 136. Iluminarea frunzelor diferitelor între noduri intr-o semănătură de cartof 1, deasupra frunzelor 2, la nivelul întrenodului superior, 3 la nivelul întrenodului mijlo iu, 4 la nivelul întrenodului inferior.

merge prea mult, deoarece în culturile prea dese, frunzele se umbresc reciproc, înrăutățindu-se condițiile fotosintezei. L. S. Stroganov a arătat la culturi de cartofi, fig. 136, că mai ales frunzele inferioare sînt slab iluminate. De aceea, în cazul semănăturilor prea dese, acestea sînt înfometate și se prăpădesc. În afară de asigurarea iluminării bune a frunzelor, trebuie să ținem seama și de o bună aprovizionare a plantelor cu apă și cu săruri minerale.

In cazul culturilor neirigate, și netratate cu îngrășăminte nu putem merge prea departe cu desimea semănăturilor, din cauza condițiilor mai grele de aprovizionare cu apă și cu săruri minerale a plantelor. Practica a arătat că în acest caz, desimea optimă a semănăturilor este aceea în care suprafața frunzelor depășește de 20 de ori suprafața terenurilor de cultură.

In cazul culturilor irigate și tratate cu îngrășăminte, aprovizionarea plantelor cu apă și cu săruri minerale se ameliorează și putem îngusta mai mult semănăturile. In aceste cazuri, putem merge pînă la obținerea unei suprafețe foliare de 40 ori sau de 50 ori mai mare decît suprafața terenului de cultură. În astfel de condiții, V. A. Alexeenko a arătat că se obțin la grîu recolte mari și coeficienți economici ai transpirației mici, în cazul aplicării a două udări și a administrării de îngrășăminte chimice cu fosfor și cu azot cum se vede în tab. 28.

Tabel nr. 28

	Fără irigare și fără îngrășăminte	2 udări fără îngrășăminte	2 udări cu îngrășăminte	3 udări cu îngrășăminte
Cantitatea totală de apă eliminată, t/ha	2002	3934	4294	5367
Coeficientul transpirației	600	545	425	537

Odată cu scăderea intensității luminii, crește procentul luminii folosite de plante în fotosinteză și ca atare se micșorează coeficientul economic al transpirației, cum se vede în fig. 137.

Urmărind la bumbac recolta în funcție de creșterea suprafeței foliare a semănăturilor, fig. 138, Mednis a arătat cum peste suprafața foliară de 27 ori mai mare decît aceea a terenului de cultură, recolta începe a scădea. Productivitatea fotosintezei scade începînd cu suprafața foliară de 20 ori mai mare decît aceea terenului de cultură, respectiv, mai ales din cauza umbririi reciproce a frunzelor.

Se cunosc cazuri obținerii unor recolte mari, ca de ex. 190 t, rădăcini de sfeclă la ha., 120 tone tuberculi de cartofi la ha., 20 tone boabe la ha. și 7 tone boabe grîu la ha. La aceste recolte valoroase mari, le corespund recolte biologice și mai mari, mergînd pînă la 50 tone substanță uscată la ha. Aceste recolte mari arată pe deoparte posibilitatea aprovizionării populației cu alimente și totodată posibilitatea unei creșteri continui a recoltelor. La mărirea recoltelor este de mare importanță concentrația CO_2 din aer. Aceasta e în parte mărită de CO_2 produs prin respirația microorganismelor din sol. Ingrășămintele na-

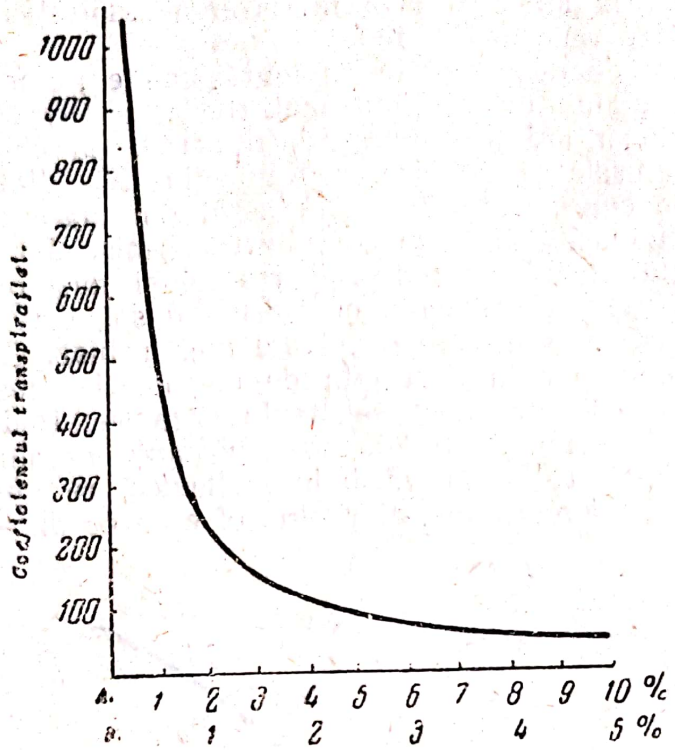


Fig. 137. Folosirea energiei în fotosinteza A din radiațiile vizibile și B din radiațiile totale.

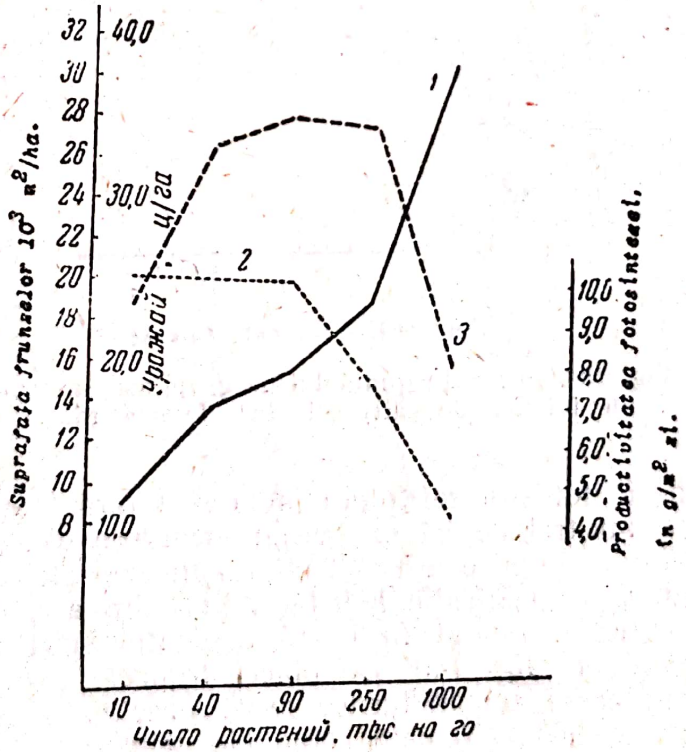


Fig. 138. Influența desimii semănăturii de bumbac asupra suprafeții frunzelor 1, asupra productivității fotosintezei 2, și asupra recoltei de fibre 3, (după Mednis).

turale intervin între altele și prin favorizarea respirației acestor microorganisme, cum se vede în fig. 139.

La o cultură de ovăz tratată cu îngrășăminte naturale, se constată în aerul dintre plante un conținut mai ridicat a CO_2 decît la cultura neîngrășată, cum a arătat Lundegard, fig. 140. La cultura tratată cu îngrășăminte naturale și chimice, concentrația CO_2 dintre aerul dintre plante depășește concentrația CO_2 din aerul din afara culturii. Irigația mărește și ea intensitatea respirației microorganismelor din sol. O influență importantă asupra intensității respirației microorganismelor din sol o are cantitatea de substanțe organice din sol, care în genere e cu atît mai mare, cu cît solul are o culoare mai închisă. Cernoziomul conține 7-10% humus, iar la suprafața de un ha, îi corespunde un conținut de aproximativ 200 tone substanțe organice. Podzolul cu numai 1% humus, conține numai 10-20 tone substanțe organice la ha. Prin irigații și administrare de îngrășăminte chimice, se poate mări intensitatea respirației microorganismelor din sol ceea ce duce concomitent la

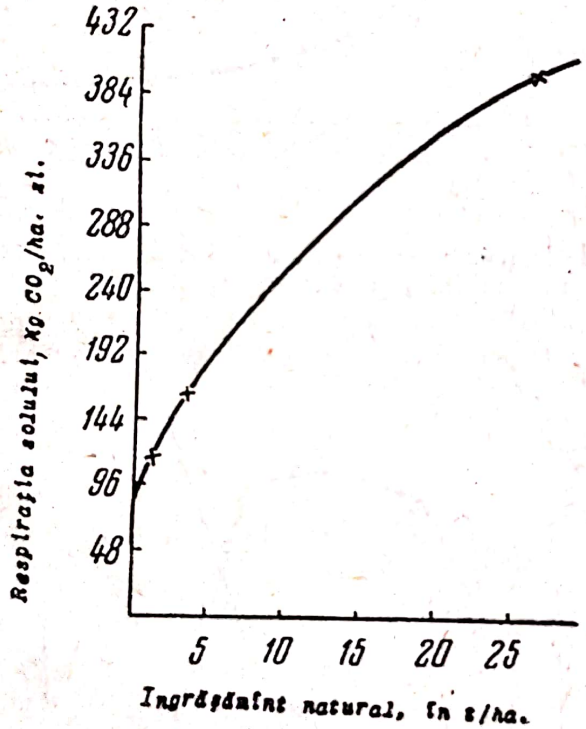


Fig. 139. Influența gunoiului de grajd asupra producției CO_2 de către sol (după Lundegardh).

mărirea intensității fotosintezei plantelor de cultură. Cu astfel de măsuri, agrotehnice nu trebuie să exagerăm, deoarece ele duc la scăderea cantității substanțelor humice din sol, obținîndu-se o alterare a însușirilor bune ale solului. O concentrație mărită a CO_2 din aer, duce la mărirea intensității fotosintezei, numai în cazul unei iluminări intense a frunzelor, cum se vede în fig. 140. De obicei frunzele inferioare sînt prea slab iluminate în cazul semănăturilor dese. Practica a arătat că aceste frunze activează productiv în cazul cînd ele primesc cel puțin 10% din lumină, ceea ce de obicei are loc la o desime a semănăturilor de 20.000 la ha. In cazul semănăturilor mai dese, cînd suprafața frunzelor ajunge de 50.000 m² la ha., frunzele inferioare primesc numai 2-5% din inten-

sitatea luminii naturale, ceea ce duce repede la îngălbenirea, ofilirea şi la moartea lor prin înfometare. De aici rezultă că semănături dese,

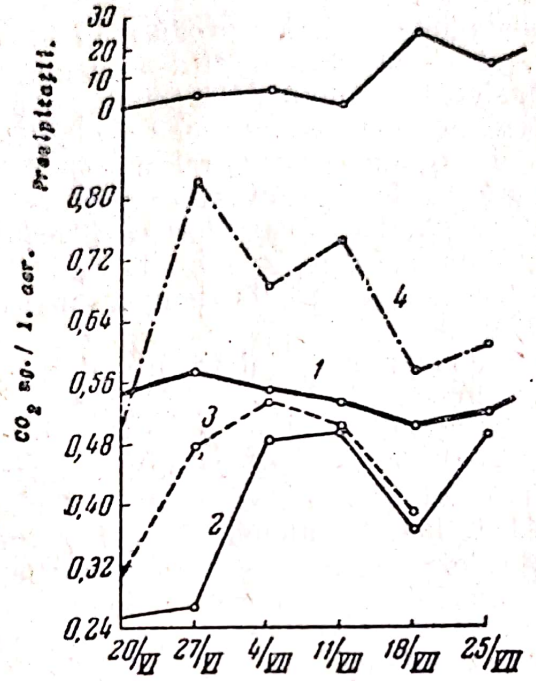


Fig. 140. Concentraţia CO_2 într-o semănătură de ovăz în funcţie de îngrăşăminte. 1 în afara semănăturii, 2 în parcela neîngrăşată. 3 într-o parcelă tratată cu îngraşăminte minerale şi naturale.

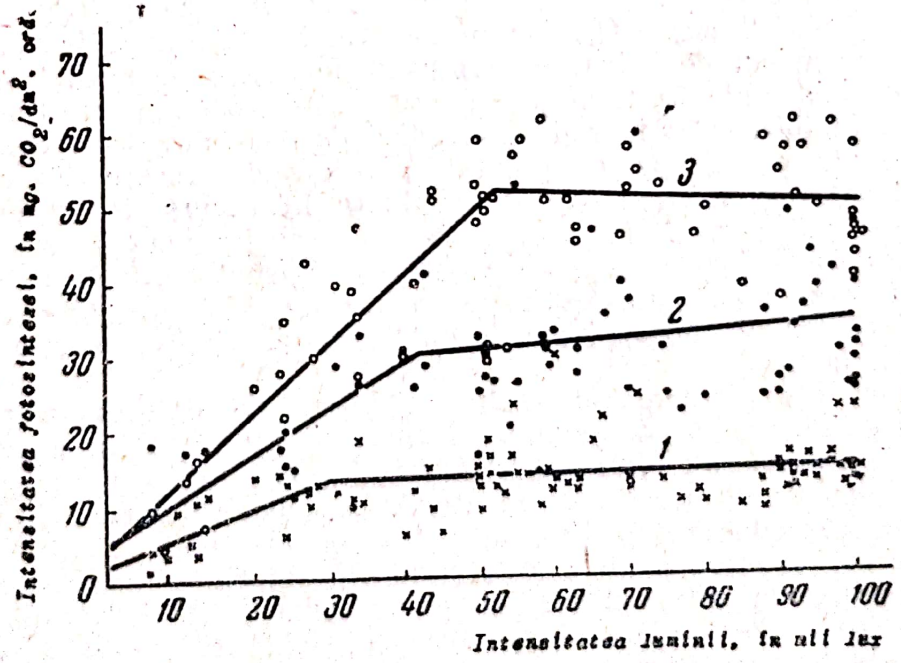


Fig. 141. Intensitatea fotosintezei în funcţie de concentraţia CO_2 şi intensitatea luminii (după A. A. Niciporovici 1956).

se pot face cu folos numai în regiunile cu lumină puternică. La unele plante de ex. la soia, frunzele inferioare sînt foarte însemnate la nutriția păstăilor inferioare de cari depinde în bună parte recolta, cum a arătat N. F. Belikov.

O parte din substanțele organice produse în fotosinteză nu se depun în corpul plantelor, ci se pierd mai ales în fenomenul respirației. Mai ales la organele masive, ca tulpină, rădăcină, se pierd cantități însemnate de substanțe organice prin respirație. La plantele din deșerturi, care au rădăcini adînci și organe aeriene relativ slab dezvoltate, consumul de substanțe organice în fenomenul respirației e relativ mare, și din această cauză astfel de plante se caracterizează printr-o creștere înceată.

Temperatura ridicată mărește mai mult intensitatea respirației decît a fotosintezei. Din această cauză la temperaturi ridicate randamentul fotosintezei e mai slab.

La o plantă de muștar s-a stabilit următorul bilanț al substanței organice produse și consumate. Planta a avut o suprafață foliară de 153 cm^2 și o greutate uscată de 1,44 g.

La suprafața foliară de 50 cm^2 și la iluminarea de 20.000-50.000 lux, corespunde o intensitate a fotosintezei de 24 mg. CO_2 pe oră, iar la iluminarea de 4.000 lux, o intensitate a fotosintezei de 8 mg. CO_2 pe oră. Din aceste valori se calculează o producție pe zi de 153,6 mg. substanțe organice. La întreaga suprafață foliară a plantei, care e de 153 cm^2, îi corespunde pe zi o cantitate de 285 mg. substanțe organice produse în fenomenul fotosintezei.

La aceeași plantă s-a determinat următorul consum de substanțe organice în fenomenul respirației:

La frunze intensitatea respirației era de 1,6 mg. CO_2 la suprafața foliară de 50 cm^2, și în decurs de o oră, de unde se calculează un consum de substanțe organice de 8,2 mg. substanțe organice în decurs de 24 ore.

Rădăcina și tulpina a căror greutate uscată era de 0,856 g., consumă pe oră 2,2 mg. CO_2, iar în 24 ore, 53 mg. CO_2, la care corespunde un consum de substanțe organice de 32,4 mg. Totalul substanței organice consumate în timp de 24 ore, era de 8,2 mg. la frunze și de 32,4 mg. la tulpină și la rădăcină, adică de 40,6 mg. Scăzînd cantitatea de substanță consumată de plantă în decurs de 24 ore din cantitatea de substanță organică produsă de planta în decurs de 24 ore, adică 285 mg.—40,6 mg.=244,9 mg. obținem producția netă a acelei plante în decurs de 24 ore, care e de 244,9 mg. substanță organică. Substanța organică consumată din respirație, reprezintă 17% din producția netă. La majoritatea plantelor pierderile datorite respirației reprezintă 27% din producția netă.

La copaci pierderea de substanță organică datorită respirației e mai mare, din cauza rădăcinilor și tulpinelor masive. La aceste plante mai au loc pierderi însemnate de substanțe organice prin frunzele căzute și prin numeroasele ramuri ce se usucă. La copaci pierderile de substanțe organice se evaluează la 40% față de producția netă.

Trebuie cunoscută nu numai producția globală de substanțe organice produse de către plante, ci și de repartiția acestor substanțe la diferite organe ale plantelor, deoarece substanța valoroasă a recoltei la fiecare plantă de cultură, se depune în anumite organe. Așa de exemplu la muștar în frunze se depun 0,9 t. substanțe organice, 10% din re-

Scanned with OKEN Scanner

colta biologică; în tulpini se depun 5,8 t. substanțe organice, 62% din recolta biologică; în rădăcini se depun 0,3 t. substanțe organice, 3% din recolta biologică; în fructe se depun 2,3 t. substanțe organice, 24% din recolta biologică.

La grîu boabele reprezintă deobicei 30%, paiele 50%, și rădăcinele 20% din recolta biologică (din totalitatea substanțelor organice produse de plante).

Pe baza studiului fotosintezei, se pot recomanda anumite măsuri pentru ameliorare și selecție. În genere plantele cu o creștere mai intensă a suprafeței foliare și a organelor de rezervă, în care se depun substanțe de rezervă prețioase, cu un coeficient economic al transpirației mic și cu un coeficient ridicat al substanțelor de rezervă valoroase, față de totalitatea substanțelor organice produse, vor produce o recoltă mare. În condiții agrotehnice bune, ele vor putea produce o recoltă biologică de 20-30 tone substanță uscată la ha., iar în condiții de irigare, recolta poate ajunge la 60 tone substanță uscată la ha. Această recoltă poate crește și mai mult, prin mărirea randamentului actual mic de transformare de către plante a energiei luminii în energie chimică.

Mărirea productivității lacurilor.

Creind condiții bune pentru creșterea fotosintezei plantelor submerse din lacuri, se mărește cantitatea de hrană și prin aceasta și producția de pește a lacurilor. Mai ales algele unicelulare prezintă o însemnătate

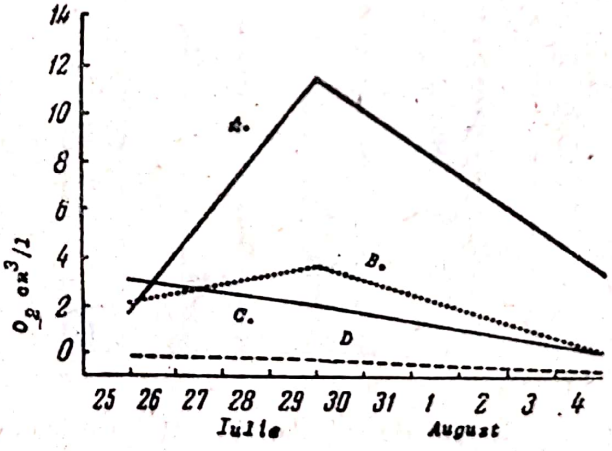


Fig. 142. Fotosinteza și respirația fitoplanctonului într-un lac tratat cu îngrășăminte Fy și Dy și într-un lac netratat cu îngrășăminte Fk și Dk (după S .S. Baslavskaia).

deosebită în productivitatea apelor. Prin introducerea îngrășămintelor chimice cu fosfor și azot, S. S. Baslavskaia (1952) a obținut o creștere simțitoare a masei fitoplanctonului, care a mărit productivitatea piscicolă a lacului. Autoarea a constatat totodată, o creștere simțitoare a intensității fotosintezei și a respirației fitoplanctonului, cum se vede în fig. 142.

Cultura în masă a algelor unicelulare.

În țări ca Japonia, Germania, Italia, Palestina, Olanda, S.U.A. și altele se fac cercetări în vederea culturii masive a algelor cu scopul obținerii de alimente. Cel mai mult, e folosită pentru aceste culturi alga Chlorella care se cultivă relativ ușor. Prin înmulțirea ei rapidă, și anume în decurs de 10 pînă la 24 ore, se obține într-un timp relativ scurt, un număr mare de indivizi. Creîndu-se condiții optime pentru îndeplinirea fenomenului fotosintezei mai ales prin mărirea concentrației CO_2, cultura algei Chlorella ajunge la un randament ridicat de 10-12%, al transformării de energie de lumină în energie chimică.

Alga Chlorella se cultivă în rezervoare mari, nu prea adînci, umplute cu soluții minerale nutritive. În acestea borbotează încontinuu aer, al cărui conținut în CO_2 se mărește aproximativ de 10 ori. Acest curent de aer menține alga Chlorella în suspensie și totodată asigură o difuziune mărită a CO_2 în apă. În astfel de condiții alga Chlorella se înmulțește foarte repede, acumulînd în corpul său substanțe organice valoroase. Cum această algă e lipsită de o membrană celulozică, substanțele organice produse de ea, sînt digerate și folosite aproape în

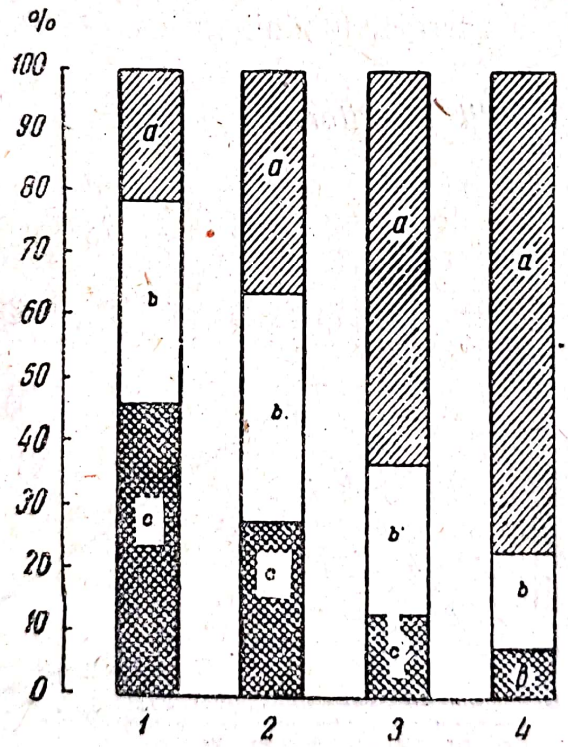


Fig. 143. Compoziția substanței uscate, a celulelor algei Chlorella crescute în condiții diferite, a lipide, b glucide, c protide (după Milner 1953).

întregime de animalele de experiență (șoareci, cobai). Substanțele organice produse de alga Chlorella, constau mai ales în substanțe proteice, aproximativ 50%, glucide aproximativ 30% și lipide aproximativ 20%.

Căldura de combustiune a substanțelor organice produse de alga Chlorella, este relativ ridicată, în jurul a 5,5-5,8 k. cal./gr. Prin modificarea compoziției mediului de cultură, se poate obține o dirijare a substanțelor organice, produse de alga Chlorella. Milner (1955) a arătat

că prin mărirea concentrației substanțelor azotoase în mediul de cultură, crește cantitatea substanțelor proteice din corpul algei iar mărirea concentrației fosfaților, are ca urmare o creștere a conținutului în lipide, fig. 143. Recoltarea algei se face fie prin filtrarea mediului de cultură, sau prin centrifugare. Mediul de cultură este apoi introdus din nou în rezervoarele expuse la lumină, în vederea unei noi culturi de alge.

Cultura masivă a algelor unicelulare, se găsește deocamdată în faza de cercetare, de laborator. In anumite condiții optime în astfel de experiențe s-a obținut un randament al fotosintezei de 10—12% din radiațiile luminii active în fotosinteză. Ținînd seama de faptul că în zilele de vară radiațiile active în fotosinteză sînt de 17—20 milioane K.cal./gr., la un randament de 10% de folosire a acestor radiații de către Chlorella, se ajunge la o producție de substanță organică, care prin ardere produce 1,7—2,0 milioane K.cal./gr. Pe baza căldurii de combustiune a substanțelor organice produse, de 5,5—5,8 K.cal./gr. se poate calcula că alga poate produce pe zi la suprafața de un ha., o cantitate de aproximativ 360 kg. substanță uscată. In unele cercetări s-a obținut o producție de substanță uscată de 70 gr./m². pe zi, ceeace ar reprezenta 700 kg. la ha. pe zi. In astfel de cazuri, randamentul fotosintezei ajunge la 23,5%. Pînă în prezent nu au fost învinse greutățile tehnice pentru introducerea în practică a culturii masive a algelor unicelulare. Ținînd seama de faptul că asemenea culturi fac posibilă o mai bună folosire a CO_2, a apei, și a luminii din natură, decît prin cultura plantelor superioare, precum și de faptul că asemenea culturi oferă recolte numeroase în decursul unui an, în viitor nu este exclus să se obțină pe această cale o cantitate însemnată de alimente nu numai pentru om, ci și pentru animalele domestice. De altfel în prezent se introduce tot mai mult cultura drojdiei de bere, tot o plantă unicelulară, în vederea obținerii de substanțe alimentare valoroase.

Culturi de plante în lumină artificială.

In cazurile în cari se urmărește, nu o producție de substanțe organice de către plante, ci numai o transformare a substanțelor organice depuse în organele de rezervă, în alte substanțe organice depuse în alte organe, de ex. în frunze verzi, cultura în lumină artificială e ușurată prin faptul că intensitatea luminii poate fi relativ scăzută. Așa de ex. în vederea obținerii frunzelor verzi de ceapă în timpul iernii din bulbi, sau a frunzelor verzi de pătrunjel, de țelină, sau de sfeclă, din rădăcinile plantelor respective, e suficientă lumina slabă de 100—150 cal./dm² oră, sau de 10.000 ergi/cm².sec.

Astfel de lumină se obține cu ajutorul becurilor electrice de incandescență de 300—500 W., montate deasupra culturilor de plante.

Din cauza căldurii produse de aceste lămpi care reprezintă 67—92% din energia electrică, plantele sînt supra încălzite. Spre a evita aceasta, lămpile se montează în așa fel, încît ele să fie în continuă mișcare în direcție orizontală deasupra plantelor, mișcarea efectuîndu-se cu o amplitudine de 2—3 m. și cu o viteză de 3—4 m. pe minut. Printr-o astfel de instalație, un bec electric de 300 W. poate ilumina o suprafață de 2—3 m.p. Mult mai ușor se lucrează cu lămpile cu luminiscență, care din cauza randamentului lor ridicat de transformare a energiei electrice

Scanned with OKEN Scanner

în energie de lumină, nu încălzesc prea mult plantele. Acestea se pot monta mai multe, unele lîngă altele, socotind ca să se obțină o intensitate a luminii de 100—150 W pe m.p.

Ramele cu becurile de luminescență, pot fi apropiate la 5—10 cm. de plante.

Durata iluminării în astfel de culturi de plante, cînd nu urmărim de fapt o producție globală de substanțe organice, poate fi restrînsă la 12 ore pe zi, care asigură sinteza clorofilei și a vitaminelor.

Cultura răsadului de tomate și de castraveți în timpul iernii

Această cultură se face cu scopul obținerii unor fructe mai timpurii. În acest caz este nevoie de o lumină mai intensă de 600-1000 cal./dm². oră, care să asigure o intensitate a fotosintezei, de 10—12 mg. CO_2/dm² oră sau 360—450 W. la m² de suprafață utilă. Și în acest caz, lumina se poate obține cu becuri cu incandescență, cu instalație mobilă, sau cu rame fixe, cu lămpi de iluminescență așezate, la 5—10 cm. deasupra plantelor, fig. 144 A și B. Durata iluminării este de 10—12 ore pe zi, ținînd seama că împreună cu lumina naturală a zilei, durata totală de iluminare, să nu

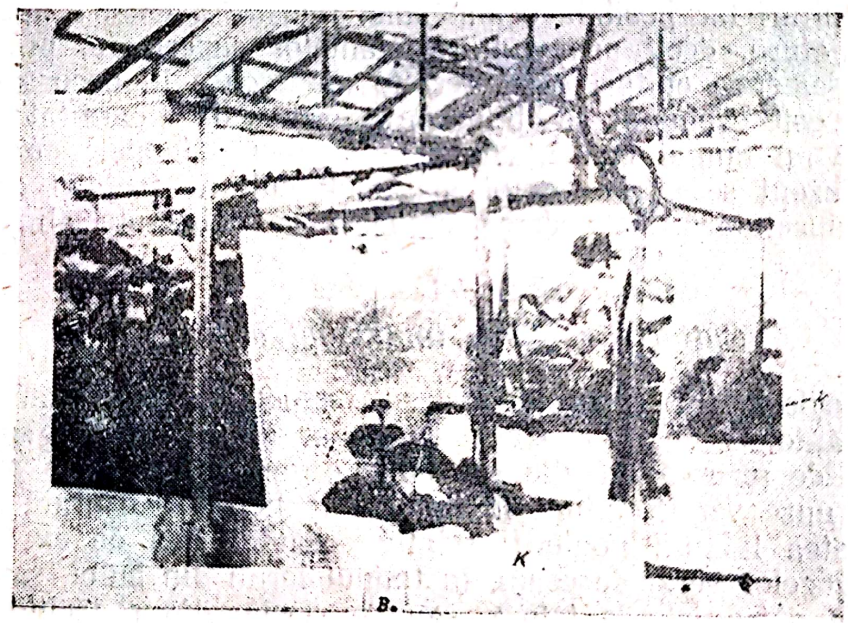


Fig. 144. Culturi de castraveți iarna în lumină artificială, produse de becuri cu incandescență A și cu luminescență B. K, plante din experiența de control.

depășească 16 ore pe zi. Plantele provenite din astfel de răsad dau fructe cu 12—20 zile mai devreme și cu o recoltă de 25—40% mărită față de plantele provenite din răsadul neiluminat cu lumină artificială suplimentară.

Sistemul iluminării suplimentare a răsadului este economic, ținînd seama de faptul că pe o suprafață de 1 m², răsadul are o desime de 100 plante, ceea ce revine la un Watt de plantă.

Culturi de plante în lumină artificială.

La cultura plantelor în lumină artificială se întîmpină greutăți relativ mari, mai ales din cauza intensității relativ mari a luminii necesare. Minimul intensității de lumină la care se pot dezvolta diferite plante, în natură, a fost stabilit de Wiesner. După acest cercetător, lariția are nevoie de 1/5 din lumina totală a razelor solare directe, mesteacănul de 1/7—1/8, pinul de 1/9—1/11, stejarul de 1/26, moliftul de 1/28—1/33, arțarul de 1/25, fagul de 1/60—1/80 din lumina solară directă. Fagul putînd suporta intensități mici de lumină, formează păduri dese, la umbra cărora nu pot crește alte plante, în timp ce mesteacănul și pinul cari necesită intensități mai mari de lumină, formează păduri rare, bogate în plante mici.

La plantele de cultură intensitatea minimă a luminii necesare unei desvoltări normale și fructificării lor, e de 1.100 lux la mazăre, de 2.400 lux la fasole, de 1.800—2.200 lux la grîu, 4.000 lux la ridiche, de 2.200—2.800 lux la tutun, de 1.400—8.000 lux la porumb, 850—1.100 lux la muștar. Multe plante se dezvoltă mai bine în lumina artificială continuă, astfel încît o întrerupere a iluminării o așa numită „odihnă" în timpul nopții, nu e necesară. Lumina artificială în care cultivăm plantele, trebuie să conțină toate radiațiile luminii solare. În fenomenul fotosintezei, intervin mai ales razele roșii. Asupra dezvoltării normale a plantelor, razele de lumină cu lungimea de undă mică, albastre și violete, au o puternică acțiune formativă, așa cum a arătat Em. C. Teodorescu. Plantele crescute de el în lumina roșie, prezintă fenomenul de etiolare avînd limbul mic, subțire și cu celule puțin diferențiate. Cele cultivate în lumină albastră, au limbul frunzei mare, mai gros și cu structură diferențiată, apropiindu-se de acela al frunzelor crescute la lumina naturală. De aceea în culturile la lumina artificială, e de însemnătate mare nu numai intensitatea luminii, ci și compoziția ei spectrală. Lumina becurilor electrice incandescente, conține prea puține raze albastre-violete cu λ 400—580 m μ și e bogată în raze galbene roșii și infraroșii cu λ 580—700 m μ. Multe plante, ca cerealele (grîul), inul, castraveții, tomatele, căpșunile, fasolea, hrișca, cresc bine în lumina becului electric. Altele ca ridichea, varza, salata, spanacul și mai ales floarea soarelui sufăr de lipsa radiațiilor albastre și violete, etiolîndu-se puternic. La acestea trebuie dată și lumină bogată în raze albastre-violete. Aceasta se poate produce cu ajutorul arcului voltaic. Lumina arcului voltaic se obține greu și în afară de aceasta arcul voltaic dezvoltă și gaze toxice pentru plante.

Lampa cu mercur în sticlă de cuarț, produce prea multe raze ultraviolete dăunătoare plantelor. Deaceea se poate folosi lampa cu mercur în sticlă obișnuită, care produce raze ultra violete mai puține. Cele mai bune rezultate se obțin cu lămpile fluorescente sau luminescente, fabricate din tuburi de sticlă pline cu vapori de Hg, cari produc raze ultraviolete. Acestea sînt absorbite de pereții tubului, cari devin luminescenți și emit o lumină apropiată de lumina zilei, în ceea ce privește proporția diferitelor radiații.

Lumina lămpilor fluorescente e mai ieftină, întrucît 30—40% din energia electrică e transformată în energie de lumină, în timp ce becurile obișnuite, lucrează cu un randament de numai 10%. În afară de aceasta, lămpile fluorescente emit puține radiații infraroșii.

În genere cultura plantelor în lumina artificială nu rentează, curentul electric fiind scump (trebuie 12 kw. oră pe zi pentru 1 m²), și ea se practică numai pentru a obține iarna plante cu vitamine, sau pentru cercetări științifice. Așa de ex. în cercetări de genetică, experiențele pot fi prelungite tot timpul anului, putîndu-se obține 4 generații pe an.

O răspîndire mai largă are sistemul de completare a luminii naturale insuficiente, cu lumină artificială. Acest sistem se aplică în sere. în timpul iernii. Lumina de completare se produce de obicei de becuri electrice obișnuite. În sistemul mixt, e folosită lumina naturală gratuită, iar lumina artificială, servește numai la completarea acesteia.

Culturi de tomate și castraveți în lumina artificială suplimentară.

Răsadul se crește în decursul lunilor august și septembrie, în răsadnițe sau în cîmp. În luna septembrie, sau mai tîrziu, răsadul se răsădește în seră. În decursul iernii lumina zilei fiind prea slabă, aceasta se completează cu lumină artificială. Cît timp plantele sînt mici, pînă la 0,5—0,6 m. deasupra lor se țin rame cu tuburi luminescente, în poziție orizontală, la distanță mică de plante. După ce plantele cresc mai mari, ramele cu tuburile luminescente se așează în poziție verticală între rînduri, astfel ca fiecare ramă să ilumineze plantele apropiate din două rînduri vecine. Intensitatea luminii trebuie să fie de 280—300 vați la suprafața de 1 m². La o distanță între rînduri de 60 cm., fiecare lampă din ramă trebuie să aibe în medie o tărie de 550—600 Watt la 1 m² suprafață utilă.

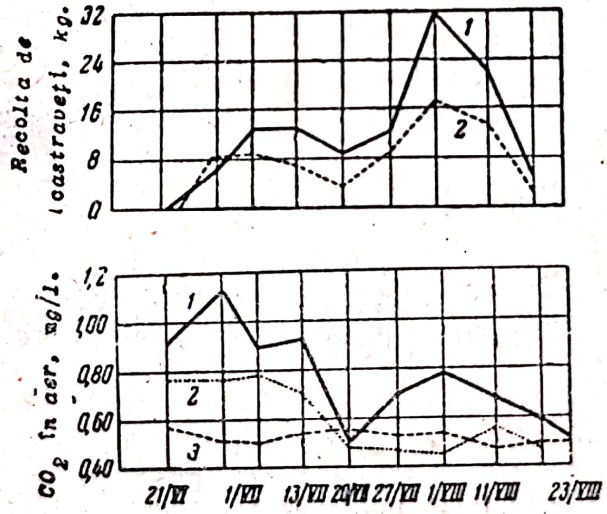


Fig. 145. Acțiunea concentrației crescute a CO_2 asupra recoltei de castraveți. 1, tratament cu CO_2, 2. experiență de control. 3. concentrația CO_2 în aerul înconjurător.

Cu acest sistem se pot obține fructe coapte de tomate și verzi de castraveți, în decursul întregii ierni.

Mărind concentrația CO_2, recolta castraveților poate fi mărită cu mult, cum rezultă din experiențele lui Lundegardh, trecute în fig. 145.

La cultura hortensiilor în seră în timpul iernii, R. Harder a obținut sub acțiunea concentrației mărite de CO_2 din aer, o creștere mai accelerată a suprafeței foliare și o înflorire timpurie, cum se vede în fig. 146 B. Rezultate și mai bune a obținut prin iluminarea artificială suplimentară,

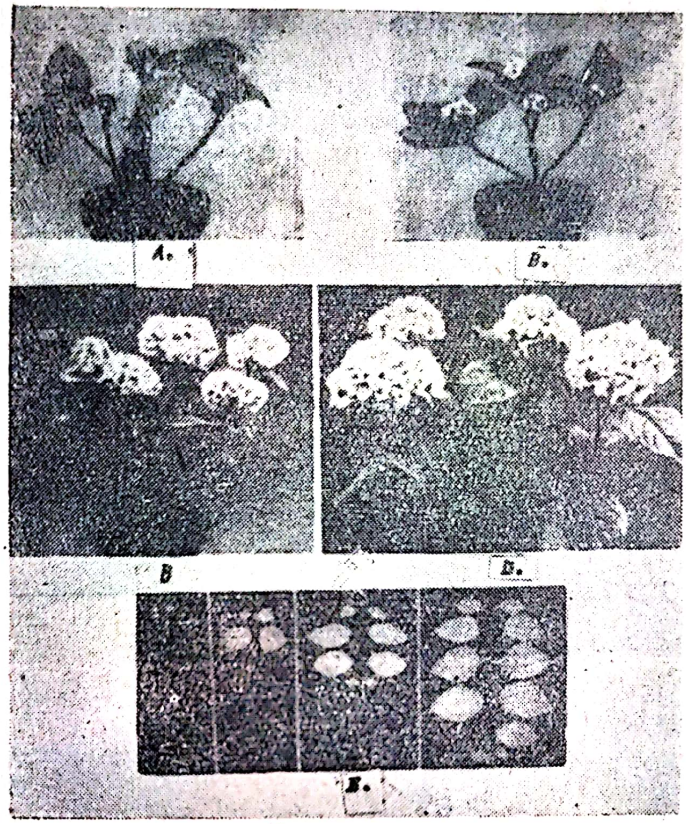


Fig. 146. Cultura hortensiilor iarna, A în lipsa luminii artificiale și în lipsa tratamentului cu CO_2' B în lipsa luminii suplimentare și artificile, dar la tratament cu CO_2, C în lumină suplimentară artificială, fără tratament cu CO_2 și D în lumină artificial suplimentară și cu tratament de CO_2 E frunzele experiențelor A, B, C, D.

fig. 146 C. Cele mai bune rezultate le-a obținut prin aplicarea concomitentă a concentrației sporite de CO_2 din aer și a iluminării artificiale suplimentare, cum se vede în fig. 146 D.

Chemosinteza

Chemosinteza reprezintă fenomenul vieții plantelor în care are loc o sinteză a substanțelor organice cu ajutorul energiei produsă din reacții chimice, și anume din oxidări de substanțe neorganice ca de exemplu oxidarea H_2 în apă a SH_2 în S și SO_4H_2. Fenomenul are loc numai la bacterii, puține ca specii și numeroase ca indivizi, a căror existență depinde de prezența anumitor substanțe minerale de oxidat. Vom studia acest fenomen la bacteriile sulfuroase nitrificante și feruginoase.

Bacteriile sulfuroase sînt foarte răspîndite în natură. Existenței lor le sînt necesare două gaze, SH_2 și O_2. Optimul de dezvoltare a lor este la presiunea parțială a O_2=15 mm. Hg și a SH_2=0,8 mm. Hg. (I cm.^{3} SH_2 la 900 cm.^{3} aer).

Bacteriile sulfuroase

Se cunosc două grupe mari de bacterii sulfuroase. Una cuprinde bacterii lipsite de pigmenți, așa numitele bacterii sulfuroase incolore, iar alta cuprinde reprezentanți colorați în roșu, așa numitele bacterii sulfuroase purpurii.

Sulfobacteriile incolore, trăiesc în apele care conțin SH_2, o substanță toxică pentru celelalte viețuitoare. Deoarece în aceste ape se găsesc sulfați, s-a crezut că bacteriile sulfuroase ar reduce acești sulfați în S, care se depune în corpul lor și apoi ar fi redus mai departe în SH_2. S. M. Vinogradskii (1887) a izbutit să lămurească modul de viață al acestor bacterii. El a cultivat bacteria Beggiatoa mirabilis cu corpul alcătuit din fire lungi, într-o apă cu SH_2, în lipsa substanțelor organice (sub 0,0005%) timp îndelungat. Această bacterie se hrănește, oxidînd SH_2 cu O_2 din aer, și energia chimică rezultată e utilizată în asimilarea CO_2.

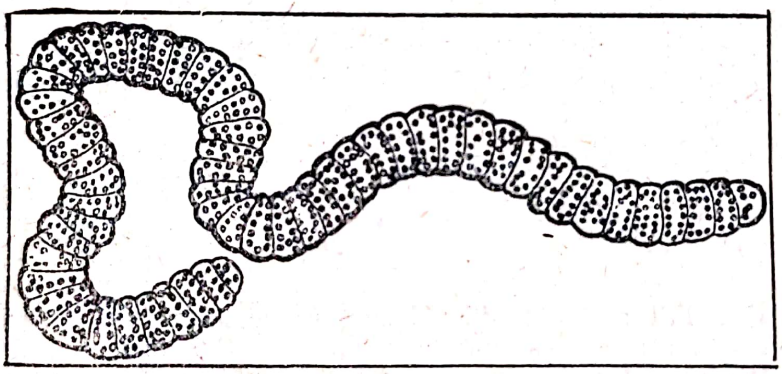


Fig. 147. Beggiatoa mirabilis.

Observată la microscop, bacteria se apropie de marginea lamelei pentru aprovizionarea cu O_2 și se retrage apoi în interior, unde utilizează O_2 la oxidarea SH_2. În timp scurt bacteriile se încarcă cu S, care la microscop apare sub formă de picături strălucitoare. În prezența CO_3Ca și O_2, sulful e oxidat în SO_4Ca. Procesul de oxidare al S are loc în lipsa SH_2. Spre deosebire de bacteriile nitrifiante, Beggiatoa poate suporta o cantitate relativ mare de substanțe organice. După calculele lui Vinogradskii, protoplasma de la Beggiatoa, oxidează într-o zi cam de 4 ori volumul său de S.

Beggiatoa oxidează SH_2 în SO_4H_2, depunînd ca produs intermediar S, care e o substanță de rezervă. SH_2 e oxidat cam la fel de repede ca și în apă, dar S e oxidat de aceste bacterii relativ repede. Se pare că la aceste bacterii, și în respirație se oxidează SH_2, așa încît ele nu ar consuma deloc substanță organică.

Sulfobacteriile din Marea Neagră fac parte din grupa spirililor. În adîncimea Mării Negre, e o cantitate atît de mare de SH_2, încît nu poate

trăi nici un animal. Cam la 200 m. dela suprafață, este o zonă de sulfobacterii, cari oxidează SH_2 atît de energic, încît deasupra ei nu mai trece deloc SH_2. Acești spirili par a avea o viață anaerobă, spre deosebire de Beggiatoa. Iegunov a pus într-un vas înalt, apă cu SH_2 din Marea Neagră și a observat că la oarecare distanță de suprafață se formează o pieliță cu spirili care oxidează SH_2. Această pieliță formează numeroase prelungiri spre adîncime. În lungul acestora, spirilii se coboară spre a se aproviziona cu SH_2 și apoi se ridică în stratul de deasupra unde are loc oxidarea SH_2. Drumul îl execută repede, cam în 5 minute.

Deasupra acestei pieliță nu se găsește SH_2, dar se găsește în cantitate mare SO_4H_2. Pieliția de bacterii se stabilește la un astfel de nivel, încît să se găsească în apa care nu e bogată nici în SH_2 și nici în O_2 dizolvat.

Bacteriile sulfuroase oxidează SH_2 în două faze:

$$1)\ 2\ SH_2 + O_2 \longrightarrow S_2 + 2\ H_2O + 63\ Cal.$$

$$2)\ S_2 + O_2 + 2\,H_2O \longrightarrow 2\ SO_4H_2 + 283{,}6\ Cal.$$

Energia pusă în libertate e folosită în parte la asimilarea CO_2, care poate avea loc în modul următor:

$$CO_2 + 2\ H_2S \longrightarrow 1/6\ (C_6H_{12}O_6) + H_2O + S.$$

Bacteriile purpurii (Rhodobacterii) se pot dezvolta în ape care conțin cantități mari de SH_2, pînă la saturație. Felul lor de nutriție nu e bine clarificat. Bacteriile purpurii conțin în stare de difuzie în protoplasmă un pigment roșu, bacterioeritrina și unul verde, bacterioclorina, care se deosebește de clorofilă prin anumite benzi de absorbție în roșu și verde. Bacterioclorofilul absoarbe și raze infraroșii, cu λ 900 m μ, care nu impresionează ochiul nostru. Nu se știe dacă bacteriile purpurii sînt sau nu capabile de fotosinteză. E sigur că ele se dezvoltă, spre deosebire de toate celelalte bacterii, mai bine la lumină ca la întuneric. Nici chemosinteza lor nu e bine lămurită.

Engelmann era de părere că bacteriile purpurii sînt capabile de fotosinteză; cercetările ulterioare au arătat că ele se dezvoltă numai în prezența SH_2 și a altor produse cu S.

Bacteriile purpurii îndeplinesc probabil atît chemosinteza cît și fotosinteza. În cazul în care o îndeplinesc, fotosinteza lor e însemnată atît pentru procurarea substanțelor organice, cît și pentru procurarea O_2, întrucît aceste bacterii adeseori trăiesc în medii lipsite de O_2, iar O_2 le e necesar pentru oxidarea SH_2. Ex. Chromatium Okenii, cu corp oval de 15 $\mu \times 5\ \mu$, cu un flagel lung cu picături de S.

Sînt și bacterii purpurii cari nu acumulează S în corpul lor (Athiorodacee). Acestea nici nu îndeplinesc chemosinteza și se dezvoltă numai în prezența substanțelor organice. La ele fotosinteza e însemnată numai pentru procurarea O_2.

Athiorodaceele se deosebesc de Thiorodacee prin aceea că ele nu pot reduce CO_2 cu ajutorul H din substanțele sulfuroase. Ele îndeplinesc acest proces cu H din anumite substanțe organice, de ex. din metan alcooli acizi alifatici. De ex.: reducerea CO_2 cu alcoolul izoamilic, are loc în modul următor:

$$CO_2 + 2\ (CH_3)_2\ CHOH \longrightarrow (CH_2O) + 2\ (CH_3)_2\ CO + H_2O.$$

acetonă

Van Nil a arătat că bacteriile purpurii acționează în modul următor:

$$CO_2 + 2\,SH_2 \longrightarrow CH_2O + H_2O + 2\,S$$

Adică 2H ai unei molecule de SH_2 se combină cu un atom de O al CO_2 și formează H_2O iar alți 2H ai celeilalte molecule de SH_2, se combină cu CO, formînd CH_2O

La rîndul său, CH_2O e polimerizată în zahăr.

Lumina intervine în proces, și se economisește energie chimică. Purpurbacteriile folosesc pentru descompunerea unei molecule de CO_2, numai 2 mol. SH_2. în timp ce sulfobacteriile incolore au nevoie de aproape 32 molecule SH_2 pentru aceasta.

În schema lui Van Nil, SH_2 apare ca un donator de hidrogen iar la plantele verzi, același rol îl îndeplinește H_2O.

Tiosulfatbacteriile oxidează tisulfații în sulfați, S, și tetrationați, utilizînd energia chimică rezultată, în asimilația CO_2.

$$5\,S_2O_3Na_2 + H_2O + 4\,O_2 \longrightarrow 5\,SO_4Na_2 + H_2SO_4 + 2\,S_2 + 500\ Cal.$$

Aceste microorganisme nu sînt distruse de substanțele organice, dar ele nu le pot utiliza în respirație.

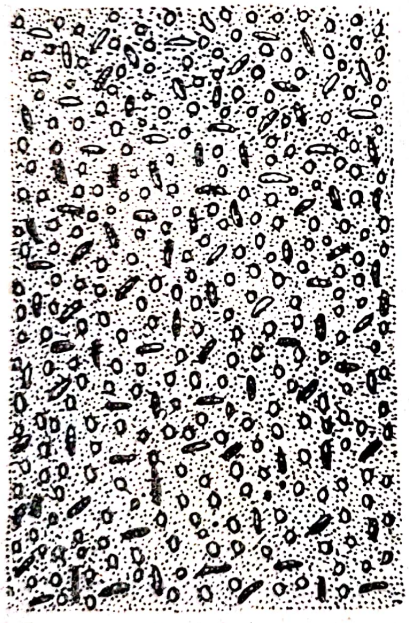


Fig. 148. Thiobacillus thioparus.

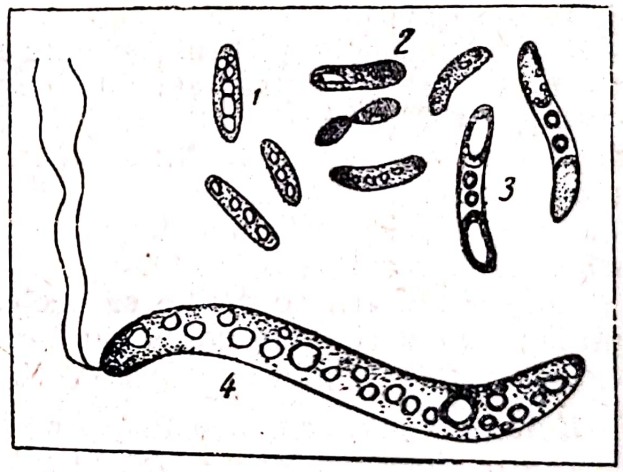


Fig. 149. Diferite bacterii sulfuroase: 1, Bacillus thiogenes. 2, Bacillus bovista. 3, Spirillum bipunctatum. 4, Spirillum granulatum.

Ele sînt foarte răspîndite în natură, în apele dulci și sărate și în soluri, Bejerinck a descris din această grupă pe *Thiobacillus thioparus* fig. 148, în formă de bastonașe mobile de 3 μ × 0,5 μ fără spori. Acest microorganism oxidează $S_2O_3Na_2$ după relația:

$$2\,Na_2S_2O_3 + O_2 \longrightarrow 2\,SO_4Na_2 + S_2 + 375\ Cal.$$

Thiobacillus thiooxidans trăiește în solurile care conțin S liber și fosforit. Prin oxidarea S, el produce SO_4H_2 pe care această bacterie îl poate suporta pînă la concentrația de 5%. Bacteria acumulează o cantitate însemnată de esteri fosforici ai glucidelor. În lipsa S, bacteria

oxidează acești asteri ai glucidelor, punînd în libertate PO_4H_3, care se elimină în mediul înconjurător. Această bacterie poate oxida și tiosulfați.

Rolul bacteriilor sulfuroase în natură este acela de a transforma SH_2 toxic, produs prin fenomenele de putrefacție, în SO''_4 netoxic și asimilabil pentru plante. Procesul are loc pe o scară întinsă, în toate solurile și în toate apele.

Prin oxidare S în SO_4H_2, ele intervin în solubilizarea $Ca_3(PO_4)_2$. Solurile alcaline pot fi neutralizate prin adăugare de sulf, cu ajutorul bacteriilor sulfuroase, care oxidează S în SO_4H_2.

Bacteriile nitrificante.

Azotații din sol și ape sînt aproape în întregime de origină biologică, ei provenind din oxidarea NH_3, provenit la rîndul său din descompunerea substanțelor proteice din cadavrele plantelor și animalelor. Prin acțiunea anesteziciilor se împiedică nitrificarea NH_3, ceea ce arată caracterul său biologic. Abia prin cercetările lui S. M. Vinogradskii (1889) s-a lămurit acest fenomen.

Izolarea bacteriilor din sol se face în general pe medii de gelatină sau de agar-agar. Acest procedeu la bacteriile nitrifiante, nu a dus la nici un rezultat. S. M. Vinogradskii a reușit să le cultive într-un mediu mineral care conținea la litru 1 g. $SO_4(NH_4)_2$, Ig.PO_4HK_2 și un rezidiu de 5—10 g. CO_3Mg., cu scopul de a neutraliza NO_3H produs. A avut loc o nitrificare intensă. La suprafața soluției s-a format o pieliță fină în care s-au identificat 5 specii de bacterii, dar niciuna nu avea acțiune nitrificantă, deși acestea ar fi trebuit să se dezvolte la suprafață, la contactul NH_3 cu O_2. Bacteriile nitrificante le-a găsit pe fund, amestecate cu CO_3Mg. S. M. Vinogradskii le-a izolat pe geluri de acid silicic. În zilele noastre izolarea se face pe plăci de gips cari conțin CO_3Mg, sau pe plăci de hîrtie.

Culturile pure de bacterii nitrificante, au arătat că unele, nitritbacteriile, oxidează NH_3, în nitriți, și altele nitratbacteriile, oxidează azotiții în azotați. Aceștia nu sînt în stare să oxideze NH_3, care se arată pentru ele ca o otravă puternică.

Un lucru însemnat îl constitue faptul că substanțele organice care pentru bacterii sînt alimente bune, ca peptonă, asparagină, glucoză, pentru nitrobacterii sînt tot atît de otrăvitoare ca sublimatul pentru alte microorganisme. Ex. glucoza încetinește creșterea în concentrația de 0,025% și o împiedică la concentrația de 0,05%, la nitritbacterii și în concentrație de 0,2% la nitratbacterii. Comportarea aceasta față de substanțele organice, e o dovadă sigură a chemosintezei.

Specificitatea bacteriilor nitrificante a fost cercetată tot de S. M. Vinogradskii. Nitritbacteriile pot oxida numai NH_3 și nici decum uree, sau amine. Nitratbacteriile oxidează numai azotiți și nu și sulfiți sau fosfiți, deși oxidarea acestora s-ar face într-un mod analog.

Asociații la bacterii nitrificante.

Nitritbacteriile pot trăi numai în asociație cu alte bacterii saprofite din sol, cari descompun substanța organică, toxică pentru ele, punînd în libertate NH_3 necesar. Ele nu se pot desvolta nici în lipsa nitratbacteriilor deoarece nitriții în cantitate mare produși de ele, sînt toxici și trebuie

transformați. Nitratbacteriile își au viața strîns legată de a nitritbacteriilor, care le livrează azotiții necesari și totodată le apără de NH_3, care e toxic pentru ele.

S. M. Vinogradskii a descris trei genuri de nitritbacterii:

Nitrosomonas, cu forma corpului ovală cu un cil lung, trăiește mai ales în solul bogat în N și în NH_4, fig. 150.

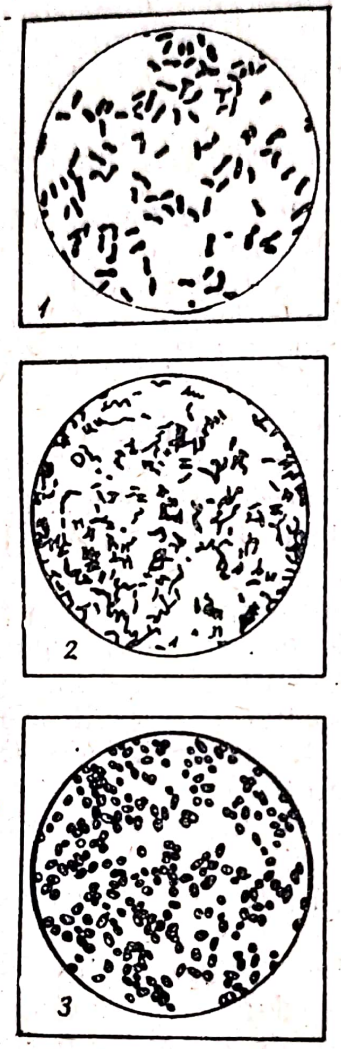


Fig. 150. Nitrosomonas.

Nitrosocystis, trăiește mai ales în solul sărac în N și în NH_4 și formează ciști în timpul în care lipsește NH_4. El trăiește mai ales în solul pădurilor și fînețelor, fig. 151.

Nitrosospira, are forma de coci, de bastonașe sau de spirili, trăiește în soluri și mai sărace în N. Ea e răspîndită mai ales în solurile nelucrate. Aceste bacterii pot fi folosite și pentru diagnosticul regimului de azot al solului, fig. 152.

Nitritbacteriile execută prima fază a nitrificării.

$$2\,NH_3 + 3\,O_2 \longrightarrow 2\,NO_2H + 2\,H_2O + 148\,C\,l.$$

Probabil oxidarea se face în mai multe faze intermediare:

$$NH_3 + H_2O \rightarrow NH_2OH\,(-2\,H) \rightarrow NH_2OH\,(-2\,H) \rightarrow ONH + H_2O \rightarrow HN(OH)_2 - (2H) \rightarrow NO_2H.$$

Activarea hidrogenului se face de dehidraze specifice, iar activarea oxigenului, de peroxidaze. Energia pusă în libertate, în parte e folosită la asimilarea CO_2.

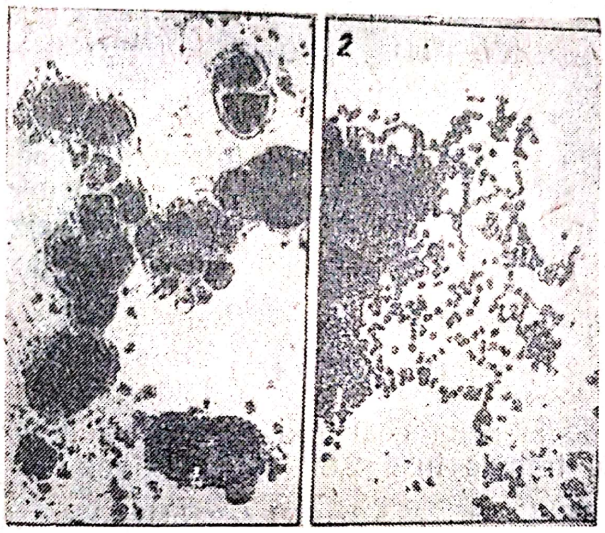


Fig. 151. Nitrosocystis, 1 în stare de agiomerare, 2 în stare de dispersare.

Fig. 152. Nitrosospira.

Ipoteze referitoare la asimilarea CO_2 de nitribacterii. S. M. Vinogradskii e de părere că în chemosinteza nitritbacteriilor nu se produce O_2 şi nu se formează nici hidraţi de C. S-ar forma mai întîi uree, din care s-ar sintetiza apoi aminoacizi:

$$CO_3H_2 + 2\,NH_3 \longrightarrow O = C\begin{matrix} \diagup NH^2 \\ \diagdown NH_2 \end{matrix} + 2\,H_2O$$

Ureea poate servi la multe plante la sinteza substanţelor proteice, dar numai în prezenţa zaharurilor.

După alte ipoteze, de ex. după aceea a lui O. Loew, s-ar forma mai întîi aldehida formică, dar fără producere de O_2, și apoi zahăr:

$$2\,NH_3 + 2\,O_2 \longrightarrow 2\,NO_2H + 4\,H$$

$$CO_2 + 4\,H \longrightarrow O{=}C\begin{matrix}H\\H\end{matrix} + H_2O$$

E greu de dovedit dacă în chemosinteza nitribacteriilor se produce sau nu O_2, deoarece O_2 luat simultan din aer pentru oxidarea NH_3, e în cantitate cu mult mai mare față de cel produs în chemosinteză.

Chemosinteza nitritbacteriilor poate fi exprimată prin relațiile:

1) $2\,NH_3 + 2\,O_2 \longrightarrow 2\,NO_2H + 4\,H$
2) $CO_2 + 4\,H \longrightarrow 1/6\,(C_6H_{12}O_6) + H_2O$ + aproximativ 40 Cal.

La un atom de N amoniacal sînt necesari 2 atomi de oxigen, după calcul, în realitate trebuie însă 2,89 atomi oxigen:

$$2\,NH_3 + 3\,O_2 \longrightarrow 2\,NO_2H + 2\,H_2O + 158\ \text{Cal.}$$

O parte din oxigen, provine din reducerea CO_2, și aceasta se dovedește prin faptul că cele două reacții, adică reacția de oxidare a NH_3 în NO_2H și reacția de reducere a CO_2 în fenomenul chemosintezei, decurg paralel.

Faza a doua a nitrificării e îndeplinită de Nitrobacher după relația:

$$2\,NO_2H + O_2 \longrightarrow 2\,NO_3H + 48\ \text{Cal.}$$

Și acest proces se îndeplinește prin mai multe stări intermediare:

$$HO{-}N{=}O + (H_2O) \longrightarrow HO{-}N{-}(OH)_2 \xrightarrow{(-2\,H)} HO{-}N{-}NO_2$$

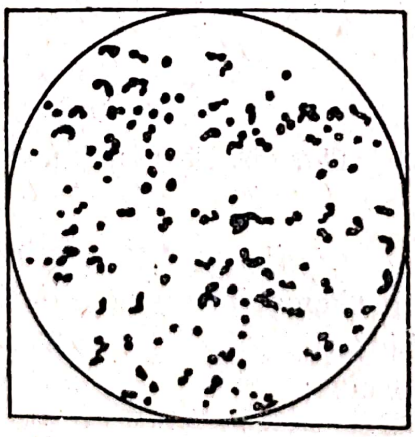


Fig 143. Nitrobacter.

Nitrobacter (fig. 115) are forma de bastonaș mic, lung de 1,0 μ lat de 0,5 μ Unele specii de Nitrobacter formează pelițe fine. S. M. Vinogradskii, a denumit astfel de bacterii *Bacterioderma*, cînd au forma de bastonașe, fig. 154 și Microderma, cînd au forma de coci, fig. 154.

Randamentul la nitrit și nitratbacterii, se stabilește după moleculele de N oxidat și moleculele de C asimilat.

La Nitrosomonas el a fost stabilit de S. M. Vinogradskii, după care

$$\frac{\text{N oxidat}}{\text{C asimilat}} = 35$$

$$2\,NH_3 + 3\,O_2 \longrightarrow 2\,NO_2H + 2\,H_2O \qquad \text{(rezultă + 148 Cal.}$$

De aici reiese că abea 6—7% din energia chimică e utilizată în asimilarea CO_2.

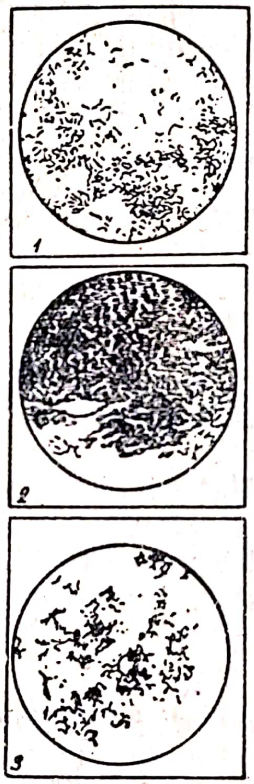


Fig. 154. 1, Nitrobacter. 2, Bactoderma 3, microderma.

La nitrobacter randamentul a fost stabilit de Meyerhof, și aici N oxidat

$$\frac{\text{N oxidat}}{\text{C asimilat}} = 135$$

$$2\,NO_2K + O_2 \longrightarrow 2\,NO_3K \qquad \text{(rezultă 43,2 Cal.)}$$
$$177{,}8 \text{ Cal.} \qquad 221 \text{ Cal.}$$

Și aici randamentul energetic al chemosintezei e cuprins între 6 și 7%.

Substanțele organice și activitatea bacterurilor nitrificante.

S. M. Vinogradskii și Omeleanskii au arătat că chiar 0,0025% glucoză întîrzie desvoltarea bacteriilor nitrificante, iar 0,2% o oprește. Experiențe mai recente au arătat că soluțiile diluate de glucoză modifică numai creșterea acestor bacterii, nu și intensitatea respirației lor. Soluții mai concentrate (1%) fac să scadă și intensitatea respirației.

Procesul de nitrificare în sol și concentrația substanțelor organice

În sol NO_3 se formează pe socoteala NH_3 produs prin descompunerea substanțelor organice: rădăcini ale plantelor, gunoi de grajd etc. Aici substanțele organice nu numai că nu împiedică nitrificarea, dar o și grăbesc. Aceasta se datorește faptului că în sol substanțele organice se găsesc în cea mai mare parte în stare insolubilă, alți numeroși microbi consumînd substanțele organice pe măsura solubilizării lor, precum și faptului că în sol oxidarea NH_3 în NO_3 se face și în lipsa microorganismelor de anumite oxidaze, puse în libertate tot de microorganismele nitrificante. Astfel de oxidaze ale NH_3, s-au pus în evidență mai des în noroiul depe fundul apelor, în care S. M. Vinogradskii a găsit peste 1 miliard microbi la 1 mm^3. El este de părere că rolul esențial la nitrifierea solului îl au microbii vii.

P.H.-ul solului.

S. M. Vinogradskii a arătat că nitrificarea are loc între pH=6,2 și 9,2. În solurile prea acide, cu pH sub 6,2, nitrificarea are loc numai în imediata apropiere a particulelor de CO_3Ca. pH-ul optim pentru activitatea nitritbacteriilor e 8,5—8,8, iar pentru activitatea nitratbacteriilor, 8,3—9,3.

Nitrificarea și sursa de NH_3.

În soluri nitrificarea decurge cu atît mai repede cu cît substanțele organice pun mai ușor în libertate NH_3.

Dintre sărurile de NH_4, cel mai repede nitrificat e NH_4 de la humați și mai încet NH_3 fixat de diferiți acizi minerali. NH_3 adsorbit de sol, e relativ ușor nitrificat. Nitrificarea decurge repede și în cazul în care NH_3 adsorbit e în cantitate de 100 de ori mai mare decît NH_3 solubil.

Influența concentrației NH_3.

În soluții apoase S. M. Vinogradskii și Omeleanskii, au arătat că NH_3 în concentrație mare, exercită o acțiune de încetinire asupra nitrificării. În sol deobicei nu se ajunge la concentrații atît de mari al NH_3 și de aceea nici acțiunea de inhibiție nu are loc. De obicei, solurile conțin concentrații extrem de mici, atît de NH_3 cît și de NO_2.

Scanned with OKEN Scanner

Influența concentrației O_2.

La concentrația O_2—21% se formează în sol 225 mg. NO_3H iar la concentrația 0_2—6% se formează în sol, 199 mg. NO_3H. De aici rezultă că nitrificarea nu depinde decît puțin de concentrația O_2. În solurile cu vegetație abundentă, rădăcinile plantelor coboară concentrația O_2 pînă la 1%, (Kudreavțeva) și în astfel de cazuri aerația, structura și prelucrarea solului au o mare însemnătate.

Astfel în solurile de turbării, neprelucrate, nitrificarea are loc cu intensitate mare în urma prelucrării (mai ales în urma și a unui amendament cu var).

În solurile de cernoziom, nitrificarea are loc cel mai energic mai spre suprafață dar ea mai are loc și la adîncime de 50 cm.

În genere în urma prelucrării solului, cantitatea de nitrați crește simțitor.

Influența umidității solului.

Între umiditatea 40 și 70% și la reacția neutră sau slab alcalină, nitrificarea în sol decurge repede, astfel că NH_4 scade la cîteva %, iar nitriții lipsesc complect.

În regiuni secetoase, ex. în deșerturi, lipsa de umiditate în sol, oprește și procesul de nitrificare. În astfel de regiuni, prin irigare se accelerează mult și nitrificarea.

Producția de NO_3H pe an, Levenfish o socotește la 100 mg. la 1 kg. sol, sau la 300 kg. la ha. Acidul azotic format, modifică și restul sărurilor din sol ex. mărește solubilitatea $(PO_4)2\ Ca_3$. Aceasta are și un dezavantaj, accelerînd spălarea sărurilor din sol.

Plantele absorbînd nitrații pe măsura formării lor, împiedică și pierderile sărurilor prin spălare. Spălarea sărurilor mai e împiedicată și de substanțelor coloidale din soluri. De aceea numai în podzol, care e penetrabil pentru apă și sărac în substanțe coloidale, spălarea sărurilor e mai intensă.

Rolul bacteriilor nitrificante în natură, constă în aceea că readuc NH_3 rezultat din degradarea substanțelor proteice, în stare de NO_3H, care e fixat de carbonații din sol, sub formă de azotați, asimilabili de plante. Zăcămintele mari de salpetru din Chile și din Asia centrală, s-au format cu siguranță sub influența bacteriilor nitrificante.

În genere azotații din soluri pot fi considerați ca fiind de origină biogenă cum au arătat Pasteur, Schléssing și Műntz, căci aceia formați din oxidarea N_2 atmosferic sub acțiunea razelor de lumină și a descărcărilor electrice, reprezintă o cantitate foarte mică.

Nitritbacteriile și Nitratbacteriile de pe stîncile calcaroase, în lipsa oricărei vegetații au fost semnalate de Műntz. Ele pot trăi în condițiile acestea grele, deoarece obțin din atmosferă apă și NH_3 necesari, precum și puțin praf care le aduce substanțele minerale necesare. Ele au nevoe numai de calcar care să neutralizeze acizii azotos și azotic produși. Aceste bacterii sînt pionierii vieții, pretutindeni unde nu e decît calcar. După felul lor de viață, bacteriile nitrificante, sînt adeseori considerate ca primele viețuitoare apărute.

Scanned with OKEN Scanner

Bacteriile feruginoase (siderobacteriile) absorb din mediul înconjurător săruri feroase, mai des $(CO_3H)_2$ Fe, pe cari le transformă în hidrați ferici

$$2\,FeCO_3 + 3\,H_2O + 1/2\;O_2 \longrightarrow 2\,Fe\,(OH)_3 + 2\,CO_2 + 20\;Cal,$$

Energia chimică pusă în libertate în această reacție e folosită la asimilarea CO_2.

Reprezentanți mai însemnați din grupa bacteriilor freuginoase sînt *Leptothrix, Crenothrix* (fig. 155) și *Cladothrix*. Aceștia cresc sub forma

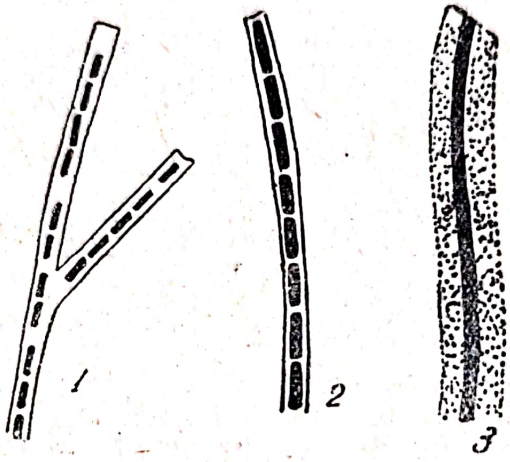


Fig. 155. Bacterii feruginoase. 1. Cladothrixdichotoma. 2, Crenothrix ferruginoase. 3. Chladothrix ochraceae

unor filamente lungi acoperite cu o teacă mucilaginoasă, fig 155. Hidratul feric produs de ele, este eliminat în teaca mucilaginoasă.

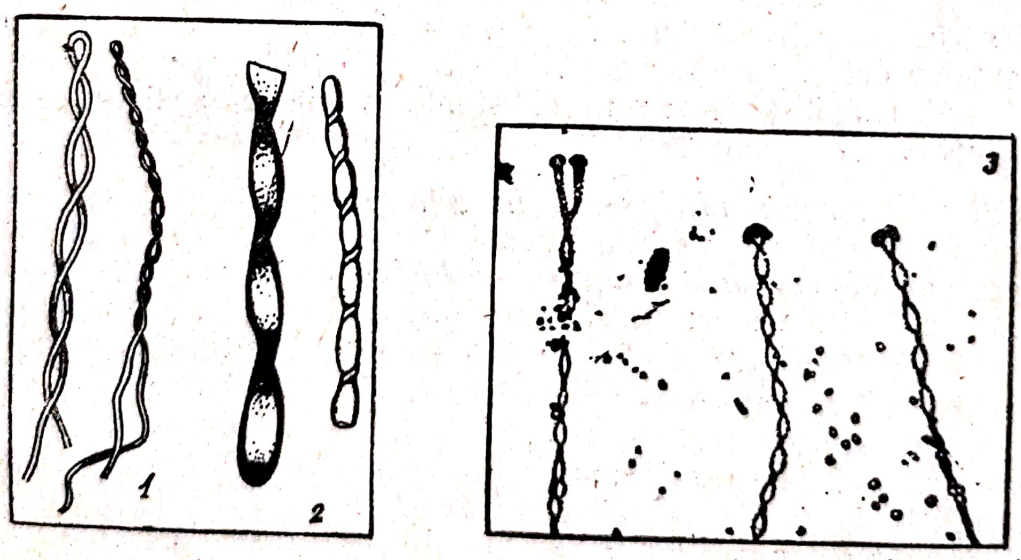


Fig. 156. 1, Gallionella ferruginea. 2, Spirophyllum ferrugineum. 3, Gallionella maior.

Unele bacterii feruginoase sînt unicelulare. Așa sînt de ex. *Galionella* și *Spirophyllum* (fig. 156). Galionella are forma unor filamente lungi, împletite cîte două, fig 156,1, iar *Spirophyllum ferrugineum* are forma unei panglici răsucite, fig. 156, 2.

Bacteriile feruginoase au fost cercetate de S. M. Vinogradskii. El a arătat caracterul autotrof al acestor microorganisme, punînd în evidență imposibilitatea dezvoltării lor în prezența substanțelor organice. Randamentul energetic al chemosintezei bacteriilor feruginoase, e în jurul a 8%. Pentru sinteza a 1 gr. substanță organică, ele oxidează 279 gr. fer feros, formînd 534 g. $Fe(OH)_3$. Raportul între Fe oxidat și C asimilat e de 500 la 1. Deaceea bacteriile feruginoase produc cantități mari de $Fe(OH)_3$.

În lipsa sărurilor feroase, bacteriile feruginoase oxidează săruri manganoase, acumulînd în acest caz în teaca lor oxizi ai manganului. În natură bacteriile feruginoase formează zăcămintele de fer depe fundul lacurilor și al mlaștinilor. Unele dintre ele oxidează și săruri manganoase, putînd forma zăcăminte de Mn.

Uneori bacteriile feruginoase se înmulțesc în tuburile de fer ale conductelor de apă, pe care le astupă.

În soluri, în genere sărurile de fer sînt reduse în straturile mai profunde și ele ajung sub forma redusă din nou în straturile superficiale, unde sînt oxidate de bacteriile feruginoase. Ca urmare, are loc o acumulare a oxizilor ferici și manganici în straturile superficiale ale solului, cum a arătat V. S. Butkevici.

BIBLIOGRAFIE

1. *B. A. Brilliant:* Fotosintez kak protess jisne deatelnosti rastenii. Izd. A N. SSSR. 1949.
2. *Deleanu N. T. und I. Dick:* Beiträge zur Kenntiis des Carotins, Neue Methoden zur Darstellung, Nachweis und Bestimmung. (Bul. Soc. de Chimie din Romînia, XIV, nr. 3—4, 157—170/1933).
3. *Deleanu N. T. und I. Dick:* Eine neue Methode zur Bestinung des Chlorophylls (Biochim, Ztschrft, 267, 317—2321 (1934).
4. *Deleaanu N. T. und I. Dick:* Dosage gravimetrique de la chlorophyllle dans les feuilles de „Salix fragilis" et „Populus alba". (Bul. de la Soc. de Chimie Biologique, XVI, nr. 5 (1934).
5. *E. R. Giubbenet:* Rastennie i hlorofil. Izd. vo A. N. SSSR, 1951.
6. *N. S. Holodnti:* Je'ezobacterii. Moskva, 1953. Izd. Ak. Nauk.
7. *W. Lubimenko:* Sur la sensibilité de l'appareil chlorophyllienne des plantes ombrobhiles et ombrophobes. (Rev. génn. Bot. 17 (1905. p. 381).
8. *W. Lubimenko:* La concentration du pigment vert et l'assimilation chlorophyllienne. (Rev. gén. Bot. 20. p. 162/198).
9. *I. Gr. Mihăilescu:* Despre conducerea substanțelor organice din frunze. Teză, Fac. de Științe București 1933.
10. *A. A. Niciporovici:* Svetovoe i uglerodnoe pitanie rasteni: (Fotosintez) Izd. vo A. N. SSSR, 1955.
11. *E. Pop:* Despre bacteriile nitrifiante din peșteri. Bulet. șt. Ac. R.P.R.
12. *E. Rabinovici:* Fotosintez T 1 i 11, Izd. vo I L, 1951—1953.
13. *N. Sălăgeanu:* Contribution à la méthode de détermination de l'intensité de l'assimilation chlorophylienne et de la respiration des feuilles aériennes, à de courts intervalles de temps. (Ann. scient. de l'univ. de Iassy T. XXI 1939, (p. 240).
14. *N. Sălăgeanu:* Sur la limite de l'assimilation chlorophyliennne à de faibles éclairements. (Bul. de la section scientifique de l'Acad. Roumaine T. XXI, nr. 5—6 p. 1/199).
15. *N. Sălăgeanu:* Sur l'échilibre entre l,assimilation chlorophyllienе et la respiration chez les feuilles aériennes. (Memoriile secțiunii științifice a Academiei Romîne seria III T. XV Mem. nr. 4 p. 73/193).
16. *N. Sălăgeanu:* Despre asimilația clorofiliană și respirația plantelor submerse de apă dulce la temperatură joasă. (Buletinul științific al Acad. R.P.R. T. I. nr. 3, p. 277/1949).
17. *N. Sălăgeanu:* Uber den Tagesverlauf der Kohlensäureassimilation im Schatten. (Comptes rendus des scéances de l'Institut des sciences de Roumanie, Bd. III, nr. 5, p. 506/1939).

Scanned with OKEN Scanner

18. *N. Sălăgeanu:* Uber die Grösse der Kohlensäureassimilations Ausbeute einiger Laabblätter. (Biolog. Zentralblatt 62, Helft 1/2 p. 1/1942).
19. *N. Sălăgeanu* Sur la nutrition chez les Rhinanthacées. (Hommage au Professeur E. C. Teodorescu, p. 177/1937).
20. *P. P. Stănescu:* Les variations quantitatives de l'amidon dans les feuilles des plantes vertes pendant une journée (24 heures). (Comptes rendus des Scéances de l'Academie des Sciences, Paris, T. 178, p. 117/1924).
21. *P. P. Stănescu:* Les variations quantitatives des substances hydrocarbonées dans les feuilles des plantes vertes au cours d'une journée. (C. R. Acad. des Sciences, Paris, T. 182, p. 152/1926).
22. *P. P. Stănescu:* Le production de l'amidon dans les feuilles des amylophiles qui en sont dépourvues par séjour à l'obscurité (C. R. Société de Biologie, T. 92 p. 13/1926).
23. *P. P. Stănescu:* Les variation quantitatives des produits de la photosynthese dans les plantes vertes pendant un jour (24 heurs). (Anales scentifiques de L'Université de Iassy T. XIV, p. 383—508/1927).
24. *P. P. Stănescu:* Contribution à l'étude de la photosynthèse. (Annales scientifique de l'Université de Iassy T. XV, p. 161—212/1927).
25. *P. P. Stănescu, A. Aronescu et I. Gr. Mihăilescu:* Sur un mode particulier d'accumulation transitoire de l'amidon dans les feuilles des amylophiles. (Bull. de la Sect. scientifique de l'Académie Roumaine, XII-éme année, nr. 6 p. 150—152/1929).
26. *P. P. Stănescu, A. Aronescu et I. Gr. Mihăilescu:* Observations sur l'évolution diurne de l'accumulation transitoire de l'amidon dans les feuilles des plantes vertes. (Bull. de la Sect. Scient. de L'Académie Roumaine T. XV-ème année nr. 3—4 p. 80—83, 1932).
27. *P. P. Stănescu:* Daily varioations in products of photosyntheis, water content and acidity of leaves toward end of vegetative period. (American Journal of Botany, XXIII, p. 376—379/1936).
28. *P. P. Stănescu:* Accumulation des hydrates de carbone dans les feuilles préalablement placées à l'obscurité (C. R. Acad. Sc. Paris, CCIX, p. 803/1939).
29. *P. P. Stănescu et Lucia Iuracec:* L'accumulation des substances synthétisées dans les feuiles préalablement obscurcies. (Ann. Sc. Univ. Iassy. XXVI, p. 423—444 din 1940).
30. *P. P. Stănescu:* L'influence du refroidissment du pétiole sur le transport des substances dans les feuilles. (C. R. Soc. de Biolog. T. 112, p. 1502/1933).
31. *Em. C. Teodorescu et H. Coupain:* Influence des anesthésiques sur la formation de la chlorophylle. (Comptes rendus de l'Academie des sciennces, Paris, T. 127. p. 884/1898).
32. *Em. C. Teodorescu:* Sur la présence d'une phycoérytherine dans le Nostoc commune. (Comptes rendus de l'Académie des science, Paris, T. 163, p. 62/1916).
33. *Em. C. Teodorescu:* Sur la présence d'une phycoérytherine dans le Nostoc commune. (Revue générale de Botanique, T. 32. p. 145/1920).
34. *Em. C. Teodorescu:* Influence des radiations de réfrangibilités différentes sur la structure des feuilles. (Bulletin de la Société des sciences de Bucarest, année VIII, 1899).
35. *Em. C. Teodorescu:* Influence des différents radiations lumineuses sur la forme et la structure des plantes. (Annales des sciences naturelles, Botanique 8-e série, T. X., p. 141—262/1899).
36. *Em. C. Teodorescu:* Observation sur la croissance des plantes aux lumiéres de diverses longueres d'onde. (Annales des sciences naturelle Botanique, 10-e série T. XI, p. 201—336/1929).
37. *Em. C. Teodorescu:* Action indirecte de la lumière sur la tige et les feuilles. (Revue générael de Botanique, T. XI. p. 369/1899).
38. *Em. C. Teodorescu:* Le développement des algues et la réfrangibilié de la lumière. (Revue générale de Botanique, T. 46, p. 65/1934).
39. *Em. C. Teodorescu:* Influence de l'acide carbonique sur la forme et la structure plantes. (Rev. gén. de Bot. T. 11, p. 445/1899).
40. *A. N. Terenin:* Fotohimia hlorofilla i fotosintez 6-e Bahovskoe citanie. A. N. SSSR, 1951.
41. *K. A. Timiriazev:* Solnje, jisn i hlorofill. Izbr. soci T. 1 Selhozghiz, 1948.
42 *S. M. Vinogradskii:* Izbr. Socin. Izd. Ak. Nauk, 1954.

MIGRAREA SUBSTANȚELOR ASIMILATE

de Prof. ȘT. PÉTERFI

TRANSLOCAȚIE SAU TRANSPORTAȚIE

Substanțele organice formate în asimilație migrează de la locul lor de formare în diferitele părți ale plantei unde sînt utilizate sau se depozitează ca materii de rezervă. Substanțele formate în frunzele Cormofitelor autotrofe suferă transformări specifice (mobilizație) și pe urmă migrează sub această formă mobilizată la diferite meristeme (vîrf vegetativ, felogen, cambiu) și țesături de înmagazinare (rizomi, tuberculi, bulbi, trunchiu, rădăcini, semințe și fructe). Aici aceste substanțe intră în metabolismul celulelor sau se înmagazinează sub formă de substanțe de rezervă.

În legătură cu migrarea substanțelor asimilate în corpul plantelor, trebuie să discutăm trei probleme principale:

1. prin ce fel de țesuturi se face migrarea substanțelor asimilate,
2. sub ce formă chimică migrează substanțele asimilate în corpul plantelor și
3. care este mecanismul, adică ce forțe contribuie la această migrare.

1. Țesuturile prin care se face migrarea substanțelor asimilate

După concepția clasică apa și substanțele minerale luate din sol de către rădăcină, sînt conduse prin lemn, iar substanțele asimilate circulă prin liber.

Căile de migrație ale substanțelor organice asimilate pot fi stabilite prin metoda de inelare, prin metoda secționării nervurii frunzelor și prin determinarea substanței uscate a suprafețelor cunoscute de frunză.

Metoda inelării simple. În timpul vegetației la o tulpină sau o ramură, îndepărtăm țesuturile corticale și liberul sub formă de inel lat de 4-5 cm. După cîteva săptămîni pe partea superioară a inelației se formează un țesut gros de cicatrizare numit calus și deasupra lui tulpina se îngroașă foarte mult, pe cînd tulpina sub partea inferioară a inelației rămîne subțire. Formarea calusului este rezultatul funcționării felogenului. Îngroșarea tulpinii în zona deasupra inelației se datorește faptului că substanțele asimilate migrează de la frunză spre rădăcină

și migrarea lor este oprită în zona inelată din cauză că lipsește liberul. (Fig. 157).

Analizele chimice au arătat că în țesuturile corticale din porțiunea îngroșată a tulpinei deasupra inelației și în frunzele ramurii inelate crește

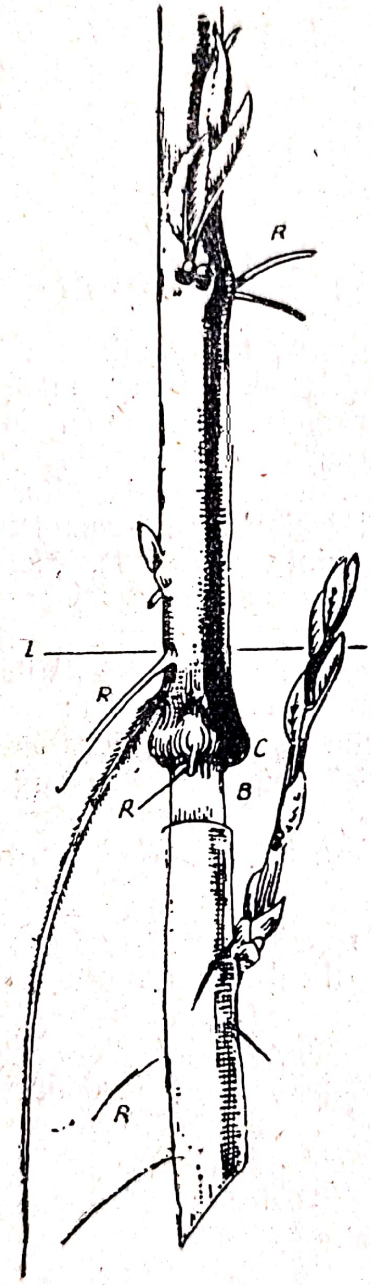


Fig. 157. Experiența de inelare făcută cu ramura de păr pentru demonstrarea migrației substanțelor asimilate. Ramura după inelare (B) a fost ținută cîteva zile în apă pînă la nivelul liniei L. La locul notat cu litera C s-a format o umflătură și rădăcini adventive (R) (după Johnson).

cantitatea hidraților de carbon și a substanțelor organice azotate. S-a mai observat că în această porțiune crește și cantitatea unor substanțe anorganice, așa de exemplu a fosforului și potasiului mineral. Sărurile

de calciu însă lipsesc. Acest rezultat ne arată că prin liber, mai precis prin vasele ciuruite, circulă și unele substanțe minerale care nu au fost utilizate în frunze.

În porțiunea tulpinii care se găsește sub inelare cantitatea hidraților de carbon și a substanțelor organice azotate s-a redus față de martori.

Dacă însă inelarea se face după îndepărtarea frunzelor, tulpina nu se mai îngroașă, ceea ce ne arată că, în lipsa frunzelor nu s-au format substanțele asimilate și nu s-a făcut nicio migrare. Experiențele de inelare ne arată căile de conducere a substanțelor asimilate în plante, care sînt țesuturile liberului, mai ales tuburile ciuruite și într-o mică măsură și parenchimul liberian. Această teză în urma rezultatelor obținute nu o putem accepta în mod categoric. Experiențele ne arată că substanțele organice pot migra și în vasele lemnoase. Se știe că primăvara, înaintea deschiderii mugurilor, substanțele organice de rezervă din plantele lemnoase se mobilizează și circulînd prin vasele lemnoase trec în muguri. Această constatare o întărește și compoziția lichidului lacrimal, care după cum se știe afară de apă și substanțe minerale, mai conține și hidrați de carbon și enzime. Este de reținut faptul că substanțele organice circulă prin vasele de lemn numai pînă la formarea frunzelor. Seva vaselor de lemn ale plantelor cu frunze dezvoltate nu mai conține hidrați de carbon.

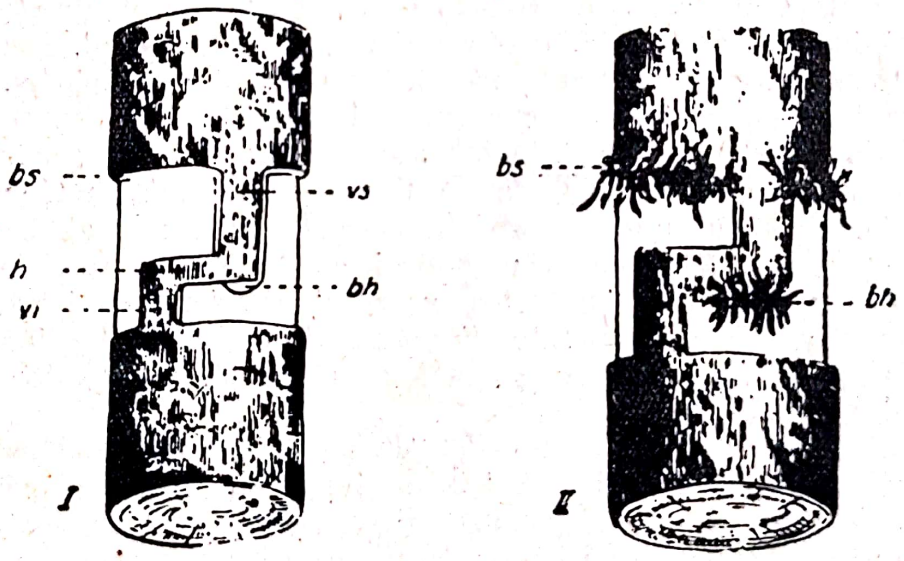


Fig. 158. Experiență de inelare scalariformă. I.—la o ramură de alun; II.—la o ramură de arțar; h—porțiune orizontală de scoarță; vs—partea superioară a porțiunii verticale de scoarță; vi—partea inferioară a porțiunii verticale de scoarță; bh—calusul format, cu rădăcini adventive în cazul arțarului (după Teodorescu și Popescu).

Inelarea scalariformă. Julius Sachs a presupus că, în migrarea substanțelor organice joacă rol și parenchimul cortical. Em. C. Teodorescu și C. T. Popescu (1915) au studiat rolul țesuturilor în conducerea substanțelor asimilate cu ajutorul metodei de inelare scalariformă inițiată încă de Czapek (fig. 158). În cazul inelării scalariforme s-a lăsat pe porțiunea inelată o fășie îngustă, orizontală de liber împreună cu scoarță, care este legată cu porțiunea neinelată a tulpinii cu ajutorul a două fășii longitudinale. Autorii în acest caz au observat formarea

calusului pe marginea superioară a inelației, pe marginea inferioară a fășiei orizontale și pe partea dreaptă și stîngă a fășiilor longitudinale. Examinînd histologic regenerarea țesuturilor, Teodorescu și Popescu au observat formarea noilor elemente liberiene (a tuburilor ciuruite noi) în partea inferioară a fășiei orizontale. Parenchimul cortical nu s-a îngroșat aproape de loc. Din aceste experiențe s-a tras concluzia că, transportul substanțelor asimilate se face aproape exclusiv prin tuburile ciuruite și numai într-o măsură foarte mică și prin parenchimul liberian.

Metoda secționării nervurilor frunzelor. Pentru aceste experiențe se întrebuințează plante în frunzele cărora în cursul asimilației se acumulează amidon. Seara pe dosul unei frunze de arțar sau de viță de vie, pe o jumătate a laminei se secționează nervurile principale pînă la elementele lemnoase ale fascicolelor libero-lemnoase. În dimineața următoare din frunza astfel operată extragem clorofila și-i determinăm conținutul de amidon cu ajutorul reacției lui Sachs. S-a constatat că în jumătatea operată a frunzei amidonul a rămas în mezofil, iar jumătatea neoperată nu mai conținea amidon, adică în cursul nopții amidonul s-a transformat și a migrat din frunză. Dacă repetăm experiența, secționînd pe jumătatea frunzei nervurile dinspre epiderma superioară în așa fel ca secțiunea să treacă numai prin lemnul fasciculelor nervurilor, constatăm dimineața că ambele jumătăți de frunze, jumătatea neoperată și jumătatea operată, dau reacție negativă cu iodul.

Experiențele de secționarea nervurilor ne arată că substanțele asimilate sînt transportate prin elementele liberului.

Metoda determinării substanței uscate, sau metoda rondelelor de frunze. Pentru acest scop seara se taie cu un cuțit circular rondele dintr-o jumătate a unei frunze. Rondelele se usucă și li se cîntărește greutatea. Dimineața cu același cuțit circular se taie același număr de rondele din jumătatea neoperată a frunzei. Rondelele se usucă și se cîntăresc. Diferența dintre greutatea rondelelor luate seara și dimineața, corespunde cu greutatea substanțelor organice migrate în cursul nopții.

Revizuirea tezei clasice a căilor de conducere ale substanțelor organice a fost propusă de H. H. Dixon (1924) care a arătat că tuburile ciuruite și celule anexe din cauza diametrului redus nu pot permite circularea sevei elaborate. Dixon a presupus că transportul substanțelor elaborate se face prin elementele conducătoare lemnoase, care au diametrul mai mare de cît elementele liberului. Teza lui Dixon n-a fost generalizată, ba mai mult cercetătorii de mai tîrziu, ca T. G. Mason, E. Műnch și alții, susțin că transportul substanțelor organice se face prin elementele liberului. Acești autori însă n-au explicat mecanismul prin care se face transportul substanțelor asimilate.

A. L. Kursanov a arătat de asemenea că substanțele organice circulă prin elementele liberului și că transportul lor nu poate fi explicat prin circulația soluțiilor organice, fiindcă translocația substanțelor asimilate este un proces mult mai complicat și care este strîns legat de metabolismul protoplasmei tuburilor ciuruite.

Scanned with OKEN Scanner

2. Mobilizarea substanțelor asimilate

Se știe că prin protoplasmă pot difuza numai substanțele solubile în apă. Substanțele insolubile, ca grăsimile, uleiurile, amidonul și substanțele proteice în general nu pot circula în această formă. Ele se transformă sub acțiunea enzimelor în substanțe mai simple, solubile în apă.

Amidonul este transformat de enzima $\alpha+\beta$ amilază (diastază) pe cale hidrolitică în maltoză, care la rîndul ei este transformată de α — glucosidază sau maltază în două molecule de glucoză. Glucoza este solubilă în apă și poate fi transportată în corpul plantelor. Experiențele au arătat că hidrații de carbon migrează în formă de glucoză, fructoză și mai ales sub formă de zaharoză. Kursanov a arătat că, hidrații de carbon în general sînt transportați sub formă de ester fosforic al zaharozei.

Cercetările făcute de T. G. Mason au arătat că monozaharidele din mezofilul frunzelor au o concentrație mai mare decît în nervuri, iar în nervuri este mai mare de cît în liberul scoarței. Din aceste date s-a tras concluzia că migrarea monozaharidelor se face în direcția corespunzătoare gradientului lor de concentrare.

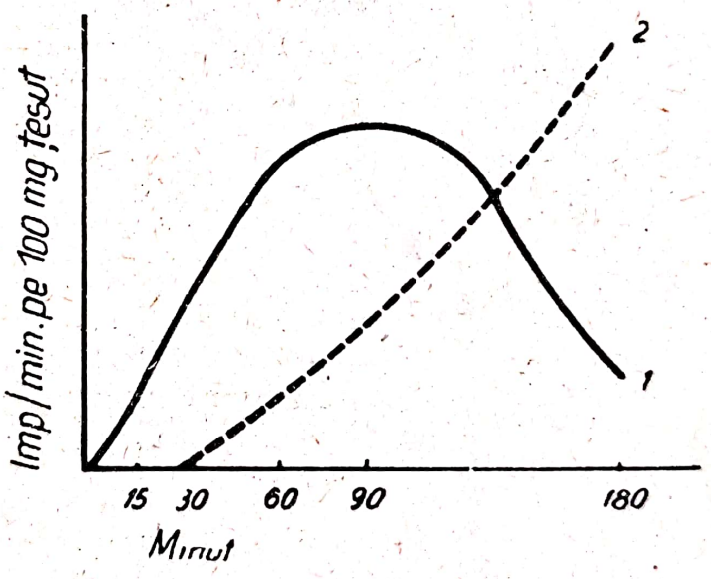


Fig. 159. Apariția carbonului radioactiv (C^{14}) în fascicolele libero-lemnoase după introducerea unei soluții de zaharoză cu atom de carbon marcat în mezofilul frunzei. 1—în plante întregi; 2—frunze tăiate (după Turkina).

Glucoza și fructoza rezultată din mobilizarea polizaharidelor, din clorenchimul mezofilului difuzează în tuburile ciuruite ale nervurilor, unde prin condensare formează zaharoza. Această transformare ne explică concentrația maximă a zaharozei pe care aceasta o atinge în nervurile frunzelor. Această constatare a fost dovedită și prin metoda atomilor marcați. Astfel M. V. Turkina a cultivat sfeclă de zahăr în mediu nutritiv care conținea $C^{14}O_2$ și a constatat că, carbonul radioactiv se acumulează în cantitate maximă în zaharoza din fleomul nervurilor frunzelor (fig. 159). O. A. Pavlovina a introdus în rădăcina sfeclei de zahăr

o soluţie de fructoză şi zaharoză care conţinea carbon radioactiv şi a urmărit trecerea carbonului marcat în zaharoză. Comparînd viteza sintezei zaharozei din frunza şi rădăcina sfeclei de zahăr a constatat că majoritatea sintezei zaharozei se face în frunză şi numai într-o foarte mică măsură (7-8%) se face sinteza zaharozei în rădăcină (Fig. 160). Din această constatare se poate deduce că zaharoza se formează în frunze şi sub această formă ea migrează prin vasele de lemn în rădăcină şi acolo se acumulează în cantităţi mari.

Din cercetările făcute de Mason se constată şi o scădere treptată a concentraţiei zaharozei în tulpină, rădăcină şi în fruct, ceea ce ne arată că migrarea zaharozei se face în sensul gradientului concentraţiei. În baza rezultatelor de mai sus, zaharoza este considerată ca forma cea mai importantă de transport a hidraţilor de carbon. În unele plante se găseşte şi hemiceluloză ca materie de rezervă depozitată în membranele celulare. În anumite faze de dezvoltare această hemiceluloză este mobilizată şi ea, şi după transportare întrebuinţată în diferite procese fizio-

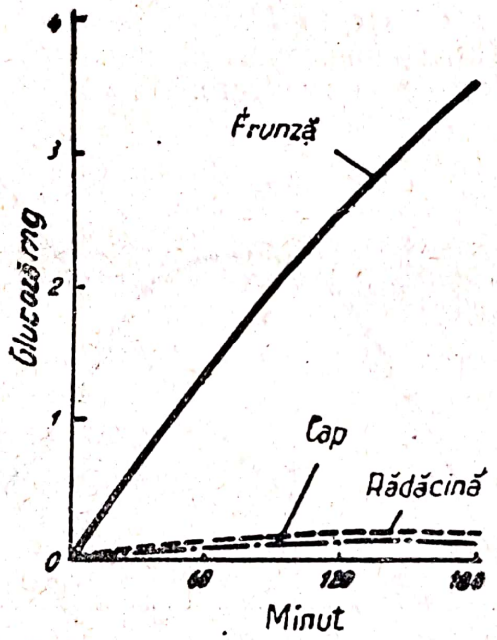


Fig. 160. Sinteza zaharozei din glucoză cu C^{14} în diferite organe ale sfeclei de zahăr (după Pavlovina).

logice. Hemiceluloza este mobilizată pe cale enzimatică descompunîndu-se în pentoze (arabinoză, xiloză) şi hexoze (galactoză, manoză). Newcombe a constatat că, hemicelulozele sînt mobilizate de aşa numitele citaze. Aşa de exemplu xilanul sub acţiunea xilanazei se descompune în xiloză.

Mobilizarea grăsimilor şi uleiurilor vegetale este mult mai complicată. Se ştie că, grăsimile şi uleiurile vegetale sînt esteri ai glicerinei cu acizii graşi superiori. Ele sînt hidrolizate în glicerină şi acizi graşi de enzima lipaza.

Produsele rezultate din hidroliza grăsimilor în cursul reacţiunilor sintetice se transformă în zaharuri. S-a constatat că în timpul germinaţiei seminţelor oleaginoase conţinutul de uleiuri ale seminţelor scade

paralel cu creșterea conținutului hidraților de carbon și mai ales a celulozei.

După cercetările lui L. Maquenne transformarea uleiurilor în semințele de *Arachis* se face în felul următor:

Nr. zilelor după germinare	Cantitatea uleiurilor grase	Cantitatea glucozei	Cantitatea celulozei
0	51,39 %	11,55 %	2,51 %
12	2 ,0 „	12,52 „	5,22 „
18	20,45 „	13,34 „	7,29 „
28	12,16 „	9,46 „	9,48 „

La începutul germinației atunci cînd embrionul se nutrește în mod heterotrof, o mare parte a uleiurilor grase se transformă în glucoză, care la rîndul său prin condensare se transformă în celuloză. Transformarea grăsimilor și uleiurilor grase în zaharuri este un proces de oxidare și se realizează cu consumare de oxigen, iar după S. L. Ivanov se petrece în felul următor:

grăsimi → acizi graşi → oxiacizi → zaharuri reducătoare
grăsimi → glicerină → aldehide → zaharuri reducătoare

O parte din acizii grași se întrebuințează în respirație. Zaharurile reducătoare formate pot fi puse în evidență cu ajutorul licoarei lui Fehling.

Substanțele proteice avînd greutate moleculară mare formează soluțiuni coloidale, care nu pot trece prin membranele celulare și prin protoplasmă. Ele sînt descompuse de enzimele proteolitice, iar produsele lor de hidroliză pot fi transportate. Cele mai cunoscute enzime proteolitice vegetale sînt papaina, endopeptaza și ereptaza.

Substanțele organice azotate circulă în plantă sub formă de aminoacizi și amide. Forma cea mai frecventă de migrare este asparagina, care se formează în urma reacțiunilor secundare în tuburile ciuruite ale frunzelor, tulpinilor și ale rădăcinilor.

În timpul din urmă s-a pus în evidență și prezența unor săruri minerale de azot, de potasiu și de fosfor în tuburile ciuruite. E. J. Maskell și T. G. Mason cu ajutorul experiențelor de inelare au dovedit rolul liberului în conducerea sărurilor de azot, potasiu și fosfor. Pentru acest scop ramura unui pom înainte de deschiderea mugurilor a fost inelat, iar pomului i s-au aplicat îngrășăminte azotate. S-a constatat că ramura astfel operată se dezvoltă mai slab de cît cele care nu au fost operate. Făcînd analiza cenușii frunzelor s-a constatat că frunzele ramurii operate dau cenușă de 50 ori mai puțină de cît frunzele ramurilor neoperate. Dat fiind că, operația de inelare făcută la începutul vegetației împiedică și dezvoltarea elementelor lemnoase, experiența a fost repetată și vara. În acest caz cantitatea cenușei frunzelor ramurilor inelate este de 3-5 ori mai mică, decît cantitatea cenușei din frunzele ramurilor intacte.

Fiindcă sărurile azotate sînt consumate și în țesuturile care conțin hidrați de carbon, Maskell și Mason au repetat experiența și într-c

altă variantă. Ramurile cu care au experimentat au fost defoliate parțial lăsînd frunze pe vîrful și la baza ramurilor. Ramurile astfel defoliate au fost inelate în mod diferit. La o ramură, inelarea s-a executat în partea superioară a porțiunii defoliate, sau la alta în partea inferioară a acestei zone și la o altă variantă în ambele capete, sus și jos, ale porțiunii defoliate. Pomului de experiență i s-au administrat îngrășăminte azotate. Analizele biochimice au arătat că, ramurile care au fost inelate în partea inferioară a porțiunii defoliate au un conținut mai mare de hidrați de carbon de cît acele ramuri, care au fost inelate în partea superioară a porțiunii defoiate. Ramurie inlelate în ambele capete ale porțiunii defoliate prezintă un conținut foarte redus de hidrați de carbon. În ra-

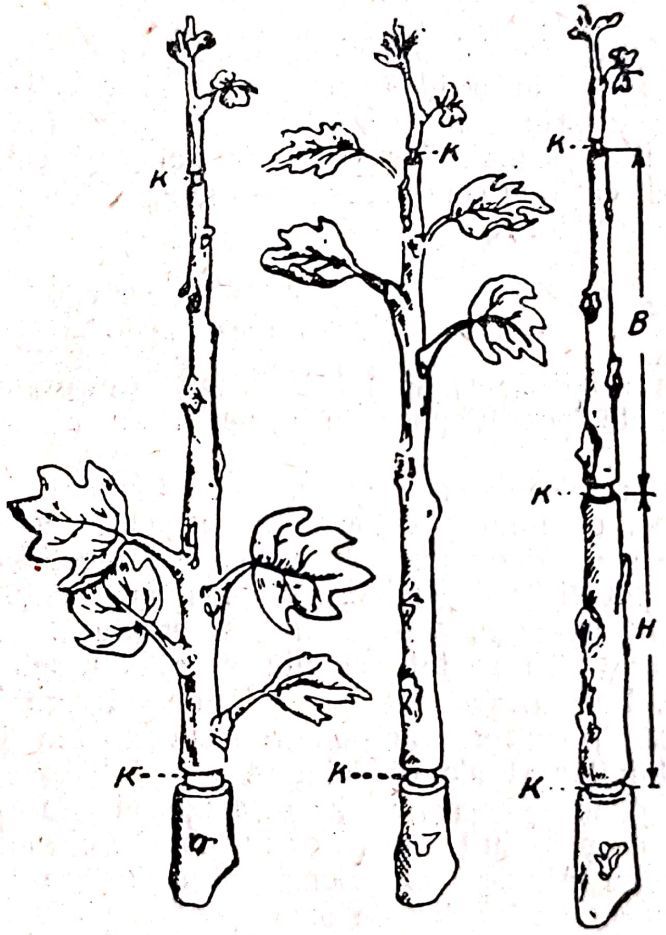


Fig. 161. Fxperiența de inelare a lui Maskell și Mason. K — locul de inelare; B și H — segmente între două porțiuni inelate. (Din cartea lui Afanasieva).

murile inelate în diferite feluri cantitatea sărurilor azotate este mai mică de cît în ramurile martore neinelate. Acest rezultat de asemenea ne arată rolul pe care îl are liberul în conducerea sărurilor de azot. Schema experienței lui Maskell și Mason este dată în figura 161.

Sărurile de azot circulă intensiv mai ales în direcția ascendentă, de la rădăcină spre frunze.

Scanned with OKEN Scanner

Formarea materiilor de rezervă

Substanțele asimilate sub forma lor mobilizată ajung la diferite țesuturi unde sînt întrebuințate ca materii formative pentru creșterea protoplasmei și a membranelor, de asemenea sînt întrebuințate în respirație iar o parte din ele se transformă și se depune sub formă de materii de rezervă.

Amidonul cum am văzut se hidrolizează în glucoză, care se transformă în zaharoză și astfel circulă pînă la organele de înmagazinare, unde prin polimerizare se transformă din nou în amidon de rezervă. Amidonul de rezervă se acumulează în amiloplaste.

Transformarea zahărului în amidon de rezervă se face sub acțiunea catalitică a enzimelor. În extrasul făcut din tuberculi de cartof s-au pus în evidență două enzime, care prezintă influență antagonistă asupra fosforului de glucopiranoză. Fosfoglucomutaza catalizează reacția de transformare a 1-fosfatului de d-glucopiranoză în 6-fosfat de glucopiranoză. A doua enzimă este fosforilaza, care catalizează sinteza amidonului din 1-fosfor de glucopiranoză. T. J. Bolotina și A. N. Petrova au studiat activitatea acestor două enzime în cursul dezvoltării cartofului. Ele au constatat că, paralel cu creșterea tuberculilor se face înmagazinarea amidonului și crește activitatea fosforilazei și în același timp se micșorează activitatea fosfoglucomutazei.

A. N. Petrova, T. J. Bolotina și A. A. Kolzeva au arătat că sinteza, respectiv descompunerea amidonului depinde și de temperatură. Așa de exemplu, la o temperatură de 18°C se observă resintetizarea amidonului, scade acțiunea hidrolitică a extrasului tuberculilor, iar acțiunea fosfoglucomutazei este neschimbată. La o temperatură de 4°C extrasul făcut din tuberculi de cartof prezintă o acțiune de descompunere a amidonului.

Substanțele albuminoide sub acțiunea enzimelor proteolitice se descompun în aminoacizi, care după ce sînt transportați la diferite celule se transformă în diferite substanțe proteice și intră în compoziția particulelor noi de protoplasmă, sau se înmagazinează în grăuncioarele de aleuronă.

Experiențele, cum am văzut, ne arată că grăsimile și uleiurile grase cu ocazia germinării semințelor se transformă în hidrați de carbon. Plecînd de la această constatare se crede că o parte din grăsimile și uleiurile grase de rezervă iau naștere din transformarea hidraților de carbon.

3. Mecanismul circulației substanțelor

O. Curtis admite teoria lui Hugo de Vries după care în transportul materiilor organice ar avea un rol important curenții protoplasmatici din tuburile ciuruite.

E. Münch (1930) a emis teoria că, substanțele asimilate circulă în fasciculele conducătoare sub acțiunea diferenței forțelor de turgescență care se realizează la capetele căilor conducătoare. Mecanismul de conducere a sevei elaborate, Münch a încercat să o demonstreze cu ajutorul a două osmometre (fig. 162(. Ambele osmometre sînt umplute cu soluție de zahăr de concentrațiuni diferite în așa fel încît într-un osmometru presiunea osmotică este 20 de atmosfere în celălalt valoarea presiunii osmotice este de 10 atmosfere. Osmometrele sînt legate între ele cu un tub de

Scanned with OKEN Scanner

sticlă, care este umplut cu soluţie de zahăr. Punînd dispozitivul astfel compus în vase de sticlă cu apă, presiunea hidrostatică se ridică la 15 atmosfere şi primul osmometru aspiră apa din vasul extern cu o forţă de sugere de 5 atmosfere (20—15=5). În celălalt osmometru forţa de aspiraţie are o valoare negativă (10—15=—5) şi presează apa cu o presiune de 5 atmosfere în vasul exterior. Ca rezultat al celor două curente opuse de difuziune lichidul din cele două osmometre circulă de la stînga la dreapta şi în acelaş timp nivelul apei din vasul extern de la stînga scade, iar din vasul extern de la dreapta creşte. Dacă cele două vase externe sînt legate cu un tub de sticlă nivelul apei se egalează şi după egalizarea diferenţei de concentraţie curentul din cele două osmometre se opreşte.

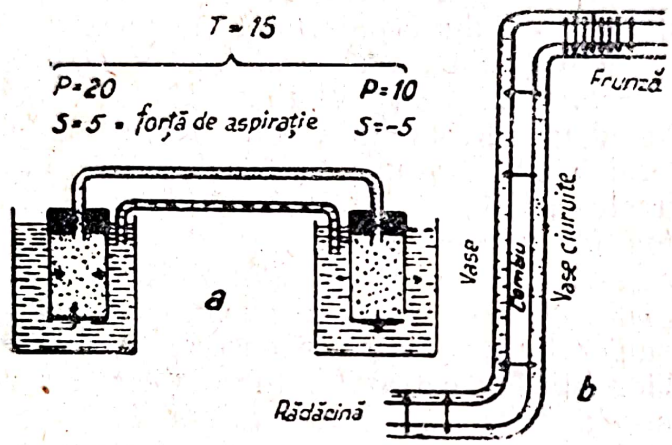


Fig. 162. a — schema pentru explicarea teoriei lui Münch; b — schema circulaţiei apei în corpul plantelor după teoria lui Münch (După Walter).

Cu o astfel de circulaţie a comparat Münch circulaţia sevei din plante. Determinările au arătat că sucul celular al tuburilor ciuruite de la vîrful plantei, spre baza ei prezintă valori din ce în ce mai mici. De aceea s-a presupus că substanţele asimilate, în circulaţia lor descendentă în parte sînt utilizate (materii plastice, substrat de respiraţie) şi în parte sînt înmagazinate în parenchimul din jurul tuburilor ciuruite sub formă de incluziuni insolubile şi prin urmare inactive din punct de vedere osmotic. După explicaţia lui Münch în cele două ţesuturi conducătoare ale fascicolelor libero-lemnoase se naşte o diferenţă de presiune osmotică în urma căreia apa din tuburile ciuruite este aspirată prin cambiu în vasele lemnoase în care ea circulă ascendent şi astfel se formează un circuit închis de apă (fig. 163). Faţă de teoria lui Münch se pot ridica mai multe obiecţii. Astfel dacă seva ar circula după schema propusă de Münch, atunci dintr-o porţiune de tulpină pusă în apă ar trebui să iasă şi să migreze în apă mari cantităţi de substanţe organice. Experienţa ne arată că acest fenomen nu se realizează. Nu corespunde cu schema lui Münch nici faptul că în tuburile ciuruite circulaţia substanţelor se poate face simultan în ambele sensuri.

Teoria difuziunii libere a substanțelor asimilate a fost abandonată și din motivul că viteza de circulație a substanțelor organice din seva elaborată, nu corespunde vitezei curentului de difuziune.

Studiind viteza de circulație a substanțelor cu C^{14} s-a constatat că, substanțele organice în frunze de soia se deplasează cu o viteză de 1,4 cm pe minut (L. P. Vernon și S. Aronoff), iar în frunzele de sfecla de zahăr zaharoza circulă cu o viteză de 70-80 cm pe oră (A. L. Kursanov, M. V. Turkina și I. M. Dubinina). Cu o viteză și mai mare circulă sub-

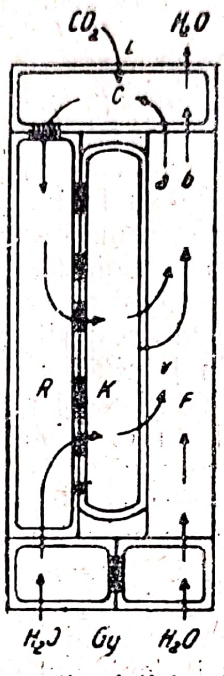


Fig. 163. Schema circulației sevei în corpul Cormofitelor. L — mezofilul; R — tuburile ciuruite; K—cambiu; F—lemn; y—parenchimul cortical al rădăcinii; C—zaharuri; a — apa în care sînt solvate diferitele substanțe; b—apa de transpirație; V — apa de lacrimație. (După Münch din cartea lui Kostytschew).

stanțele organice azotate solubile în apă. A. L. Kursanov așezînd tulpini tăiate de grîu și secară într-o soluție de 0,5% asparagină a observat o creștere considerabilă a cantității asparaginei din spicul tulpinilor după 15-20 minute. Datele lui Kursanov sînt redate în tabelul de mai jos:

Creșterea azotului în tulpini de grîu înspicate, lungi de 15 cm, într-un interval de 160 minute, înmuiate în soluție de 0,5% asparagină.

Părțile tulpinii și ale spicului	Sporirea azotului mg	%
Partea inf. a tulpinii	0,03	0,3
„ sup. „	0,76	7,8
Axa principală a spicului	0,79	8,1
Cariopsele	8,14	83,8

Din datele de mai sus reiese că viteza de circulație a asparaginei este 170-200 cm pe oră. Această viteză nu s-ar putea realiza, dacă circulația s-ar face cu ajutorul curenților de difuziune. Această viteză nu se poate explica nici prin circulația aminoacizilor prin vasele lemnoase, cu ajutorul curenților de transpirație. Experiența ne arată că transportul substanțelor organice nu depinde de curenții de transpirație.

Circulația substanțelor organice în plantă, nu este un fenomen de difuziune, ci după teoria lui Kursanov ea este rezultatul transportului moleculelor substanțelor organice realizat prin procesele metabolice din protoplasmă și plasmodesme.

Kursanov a făcut experiențe cu segmente de tulpini de grîu. Un lot din aceste segmente de tulpini au fost înmuiate într-o soluție de asparagină cu capetele lor inferioare. El a constatat că după 15-20 minute se acumulează asparagină în capătul superior al segmentelor. În segmentele de tulpină de grîu, care au fost scufundate cu capetele lor superioare în soluția de asparagină, acumularea aminoacidului s-a constatat numai în porțiunea scufundată în soluție. Din aceste rezultate Kursanov a tras concluzia că, migrarea moleculelor substanțelor asimilate se face într-un sens, și anume în sensul creșterii gradientului de adsorbție.

Capacitatea de absorbție a tulpinelor de *Helianthus scaberrinus*, scufundate într-o soluție de 0,5% de glicocol a fost deteraminată de V. O. Kazarian și E. S. Abundjin. Ei au constatat că, capacitatea de absorbție a tulpinii crește de la colet spre vîrf. S-a mai constatat că între capacitatea de adsorbție a țesuturilor conducătoare și între cantitatea substanțelor organice din ele este un raport direct proporțional.

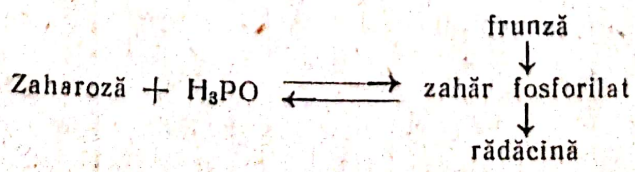
În baza experiențelor făcute, Kursanov a mai constatat că transportul substanțelor organice se face în urma activității protoplasmei și este legat de schimbul ionilor și de respirație.

M. V. Turkina a arătat că în leptomul nervurilor, pe lîngă zaharoză se mai găsește și o cantitate considerabilă de zaharuri fosforilate. În tabelul următor sînt date rezultatele lui Turkina.

Repartizarea zaharozei și zahărului fosforilat în fascicolele conducătoare, în mg, raportate la 1 g de substanță uscată:

Numele plantei	Zaharoza	Zaharuri fosforilate	Fosfați anorganici
Sfeclă de zahăr	189	15	10
Pătlagină *(Plantago maior)*	30	13	5

Se presupune că sarcinile electrice necesare schimbului ionilor, zaharoza le primește sub formă fosforilată. Forma de circulație a zaharurilor este prin urmare esterul fosforic al zaharozei, conform schemei de mai jos:



Turkina a determinat intensitatea respirației diferitelor țesuturi din frunză și a observat că țesuturile conducătoare respiră mult mai intens decît celelalte țesuturi ale frunzei și pețiolului (fig. 164). Kursanov și Turkina arată că dacă fascicolele conducătoare sînt scufundate într-o soluție de zaharoză, crește intensitatea respirației lor, fapt care ne arată că, zaharoza este absorbită în mod activ.

Creșterea intensității respirației s-a observat și în cazul cînd numai capătul fascicolelor conducătoare a fost scufundat în soluția de zaharoză, fapt care ne arată că, zaharoza se răspîndește repede de-a-lungul întregului fascicol de conducere.

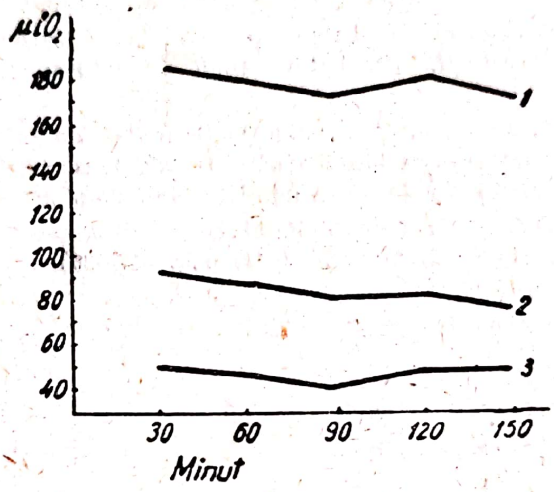


Fig. 164. Intensitatea respirației în diferitele părți ale frunzei de Plantago maior, exprimată în μl O_2 calculat la 0,5 g de substanță proaspătă. 1—în fascicolul libero-lemnos; 2—în limbul foliar; 3—în pețiol (după Kursanov).

Din experiențele amintite mai sus se poate trage concluzia că, circulația moleculelor de zahăr în celulele conducătoare are caracter metabolic; ea nu se face sub formă de unde, ci moleculele de zahăr sînt puse în mișcare pe tot traiectul sistemului conducător fără ca continuitatea gradientului de concentrație să se schimbe. În migrarea substanțelor organice respirația este indispensabilă.

Circulația substanțelor elaborate și înmagazinarea lor, se face în prezența sărurilor minerale. Circulația devine mai intensă dacă introducem substanțe minerale în plantă.

Cercetările mai noi au arătat că circulația substanțelor elaborate este influențată și de auxine. Sub influența acestor substanțe stimulatoare procesele metabolice și de circulație a substanțelor asimilate în butași devine mai intensă; hidrații de carbon și alte substanțe asimilate migrează spre porțiunea butașului, care a fost tratată cu substanțele stimulatoare ale creșterii sau cu auxine. Astfel R. H. Turețkaia a observat că, în butașii tratați cu heteroaxină hidroliza amidonului este mai intensă și migrarea zaharurilor și a substanțelor azotate este mai rapidă ca în butașii de control. S-a mai observat că sub acțiunea heteroauxinei se intensifică și procesul respirației. Astfel se explică acțiunea rizogenă a heteroauxinei sub influența căreia circulația și acumularea intensă a substanțelor nutritive fac posibilă formarea meristemelor și din ele formarea rădăcinilor adventive.

Scanned with OKEN Scanner

BIBLIOGRAFIE

1. *Afanaseva, M. V.:* Peredvijenie pitatelnih veşcestv v rasteriah. Leningrad, 1955, pag. 1—224.
2. *Bose, J. Ch.:* Physiologie de l'ascension de la sève. Paris, 1927, pag. I—XXVII şi 1—286.
3. *Kostytschew, S.:* Lehrbuch der Pflanzenphysiologie. Berlin, 1931, pag. 194—253.
4. *Kursanov, A. L.:* Dvijenie organiceschih veşcestv rastenii. Botaniceschii jurnal, Tom. XXXVII, Nr. 5, Moscva, 1952, pag. 585—593.
5. *Maximov, N. A.:* Fiziologia plantelor. ES, Bucureşti, 1951, pag. 250—254.
6. *Moisescu, N.:* Fiziologia vegetală experimentală. Bucureşti, 1907, pag. 127—129.
7. *Pavlovina, O. A.:* Primenenie izotopnovo metoda s izucenii u sinteza saharozi v sveclovicinom rastenii. Biohimiia, Tom. 19, vipusc 3, Moscva, 1954. pag. 364—372.
8. *Teodorescu, Em. C., Popescu, C. T.:* Sur le tissu libérien et son rôl dans la circulation des substances organiques chez les végétaux supérieurs. Annales scientifique de l'Université de Jassy, Tom. IX, 1915, pag. 215—242.
9. *Turkina, M. V.:* O sinteze i peredvijenii zaharozi v sveclovicinom rastenii. Biohimiia, Tom. 19, vipusc 3, Moscva, 1954, pag. 357—363.

Scanned with OKEN Scanner

ENERGEZA

de Prof. ŞT. PETERFI

I. RESPIRAŢIA PLANTELOR

Substanţele formate în urma reacţiunilor endotermice ale asimilaţiei inmagazinează mari cantităţi de energie, ce se eliberează în urma descompunerilor oxidative în cursul desasimilaţiei. Procesele acestea exotermice, producătoare de energie formează procesul respiraţiunii plantelor.

Procesul de energeză ce se petrece în cursul oxidaţiunilor substanţelor asimilate poate fi reprezentat în mod sumar prin următoarea ecuaţiune chimică :

$$\underset{\text{glucoză}}{C_6H_{12}O_6} + 6\ \underset{\text{oxigen}}{O_2} \longrightarrow 6\ \underset{\substack{\text{bioxid}\\ \text{de}\\ \text{carbon}}}{CO_2} + 6\ \underset{\text{apă}}{H_2O} + \underset{\text{energie}}{674\ \text{cal. mari}}$$

Energia ce se eliberează în procesul respiraţiunii este utilizată pentru diferite procese vitale (diferite procese cu caracter sintetic, în procesele de creştere şi în fenomenele de mişcare ale plantelor) ce se petrec în organismul plantelor.

Descompunerea prin oxidaţiune a hidraţilor de carbon se face cu ajutorul oxigenului atmosferic, iar produsele finale ale oxidaţiunilor sînt apa şi bioxidul de carbon. Luarea oxigenului şi degajarea bioxidului de carbon de către plante poate fi uşor evidenţiată şi de aceea metodele folosite pentru studiul procesului respiraţiei se reduc, de fapt, la determinarea schimbărilor cantitative ale oxigenului şi bioxidului de carbon din atmosfera din jurul plantelor.

Se ştie însă că nu acest schimb gazos, adică luarea oxigenului şi degajarea bioxidului de carbon de către plante, este esenţa fiziologică a respiraţiei, ci eliberarea energiei în urma oxidaţiunilor substanţelor organice.

Plantele nu au un organ diferenţiat şi specializat pentru respiraţie; oxidaţiunea substanţelor organice se face în toate celulele vii ale plantelor. Lipsa unui organ respirator la plante a îngreunat şi ea delimitarea respiraţiei de asimilaţie la plante.

Importanţa oxigenului în viaţa plantelor a fost cunoscută de mult. Astfel M. Malpighi în anul 1687 cunoaşte necesitatea oxigenului în timpul germinaţiei seminţelor. Mai tîrziu C. W. Scheele (1777) arată experimental că în cursul germinaţiei seminţelor, ca şi în respiraţia animalelor, se întrebuinţează oxigen şi se formează bioxid de carbon.

Jan Ingenhousz (1779) a arătat că, plantele verzi puse la întuneric, elimină în general bioxid de carbon, iar plantele lipsite de clorofilă elimină bioxid de carbon și la lumină.

N. Th. Saussure (1804) a fost acela care a stabilit prima dată prin analizele sale chimice formarea apei, pe lîngă formarea bioxidului de carbon, în cursul respirației plantelor. El cunoștea și faptul că respirația plantelor verzi este un proces continuu, ea se face ziua și noaptea.

Th. de Saussure (1804), Dutrochet (1837) și A. Mayer (1838) sînt primii cercetători, care au separat respirația și asimilația plantelor, arătînd că respirația și asimilația sînt două procese fiziologice deosebite. Față de concepția veche după care plantele asimilează ziua și respiră noaptea, ei au arătat că plantele verzi asimilează la lumină și asimilația este legată de înmagazinare de substanțe și de energie; pe cînd respirația se petrece independent de culoarea plantelor, la lumină și la întuneric și este însoțită de pierdere de materie și de energie.

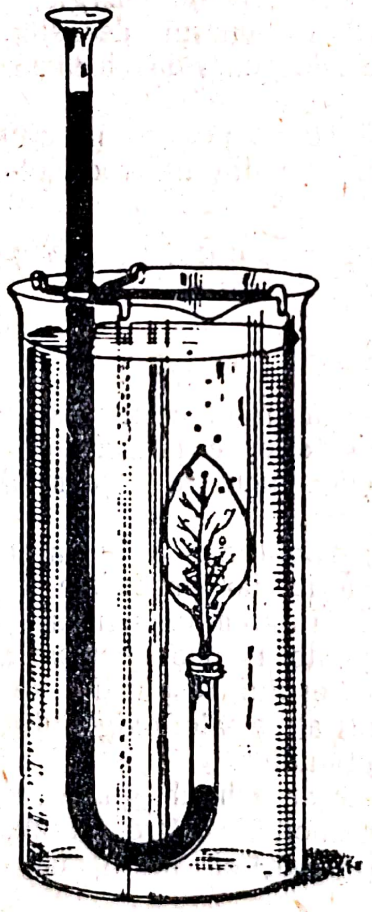


Fig. 165. Demonstrarea permeabilității pentru aer a stomatelor și a spațiilor intercelulare (după Chalons).

Pe baza rezultatelor obținute de Garreau (1851) și Mohl (1851) mai tîrziu se stabilește și natura chimică a respirației plantelor. Astfel J. Sachs (1865) arată că, respirația plantelor este un fenomen de oxidare în urma căruia se pune în libertate bioxid de carbon.

Procesul oxidației în cursul respirației a fost studiat abia la sfîrșitul secolului 19-lea de A. N. Bach (1897) și A. Engler (1897), care au arătat rolul oxidazelor în procesele de oxidare ce se petrec în celulele plantelor. V. I. Palladin (1908) a arătat rolul chinonelor din corpul plantelor în activarea oxigenului.

Mai tîrziu au fost puse în evidență și alte substanțe, care joacă rol important în oxidațiile celulare. Astfel H. Wieland (1912) arată rolul dehidrazelor. D. Keilin (1925) dovedește rolul citocromilor, O. Warburg pune în evidență rolul fermentului respirator, iar A. Szent-Györgyi (1936) și H. A. Krebs (1938) demonstrează rolul unor acizi organici în procesele de bicoxidațiune celulară.

Pătrunderea și mișcarea oxigenului în corpul plantelor. Experiența ne arată că aerul intră prin stomatele frunzelor și circulă prin spațiile intercelulare.

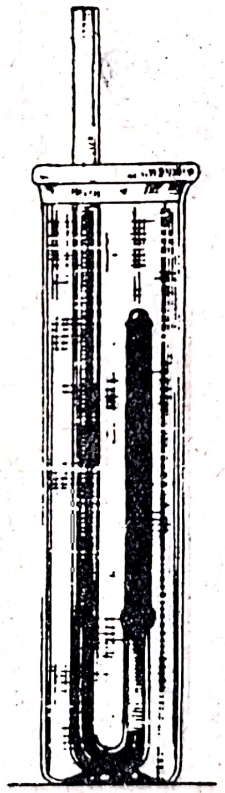


Fig. 166. Demonstrarea perm abilității pentru aer a lenticelelor (După Detmer).

Pentru a demonstra acest lucru se ia un tub de sticlă în formă de U și în ramura lui mai scurtă se fixează o frunză verde, a cărui pețiol trece printr-un dop de plută. Dispozitivul astfel pregătit se așează într-un cilindru de sticlă umplut cu apă, iar în ramura mai lungă a tubului U se toarnă mercur. Mercurul presează asupra aerului din tub și care presîndu-se în pețiol trece prin spațiile intercelulare și iese sub formă de bule de aer prin stomate (fig. 165).

Scanned with OKEN Scanner

Sistemul spațiilor intercelulare este foarte ramificat și comunică cu atmosfera nu numai prin stomate ci și prin lenticele. Pentru a demonstra rolul lenticelelor în circulația gazelor întrebuințăm o bucată de tulpină de soc lungă de 8—10 cm și pe care o fixăm la capătul tubului curbat în formă de U, în care se varsă mercur. Prin introducerea mercurului aerul din tub va fi presat în tulpină și va ieși prin lenticele sub formă de bule mici (fig. 166).

DEMONSTRAREA RESPIRAȚIEI PLANTELOR

Ținînd plante lipsite de clorofilă (de ex. ciuperci) sau organe lipsite de clorofilă (flori, rădăcini, tuberculi, semințe germinate, etc.) într-un vas bine închis, după un timp putem constata că lumănarea aprinsă introdusă în acest vas se stinge (fig. 167). Fenomenul se explică prin

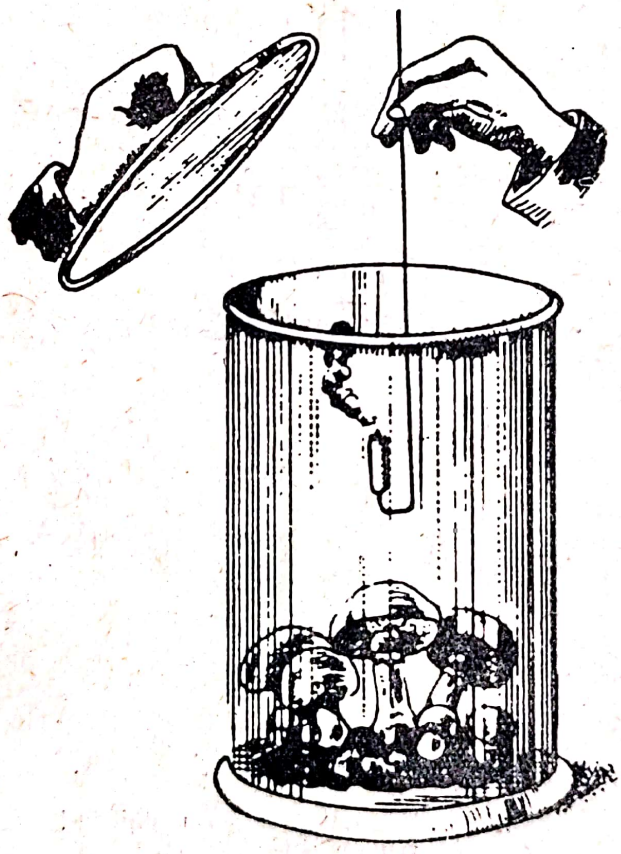


Fig. 167. Experiența pentru demonstrarea eliminării bioxidului de carbon în cursul respirației ciupercilor. (După Hansen).

aceia că în urma respirației plantelor în vasul cu care am experimentat s-a acumulat bioxid de carbon, un gaz care nu întreține arderea. Bioxidul de carbon degajat îl putem pune în evidență dacă în vasul în care sînt puse plantele sau organele care respiră, se așează un pahar cu soluție de hidrat de bariu. După un anumit timp soluția de hidrat de bariu devine turbură. In acest caz bioxidul de carbon degajat de către plante

reacționează cu soluția de hidrat de bariu după cum ne arată ecuația chimică de mai jos:

$$Ba(OH)_2 + CO_2 = BaCO_3 + H_2O$$

Respirația se poate demonstra și la plantele verzi, dar în acest caz trebuie să oprim fotosinteza, care ar utiliza bioxidul de carbon expirat. Într-un mod simplu putem studia respirația plantelor verzi la întuneric. Sub două clopote de sticlă, căptușite cu hîrtie neagră se pun plante verzi. Sub primul clopot de sticlă, lîngă plantă se pune un pahar cu apă, iar sub al doilea clopot se pune un pahar cu soluție de hidrat de bariu. După un anumit timp se constată că apa a rămas limpede, hidratul de bariu însă a devenit turbure, formîndu-se și în acest caz, conform ecuațiunii de mai sus, carbonat de bariu insolubil în apă.

Prin experiențe simple putem demonstra și absorbția oxigenului de către plante în cursul respirației.

Experiența lui Garreau. Într-un balonaș cu gîtul lung introducem semințe, flori sau ciuperci. Introducem un tampon de vată și răsturnăm balonașul într-o cuvetă cu mercur. Cu ajutorul unei pipete introducem prin gîtul balonului cîțiva cm^3 de soluție concentrată de KOH.

Semințele respirînd absorb oxigen și dau afară bioxid de carbon, care se combină cu hidratul de potasiu, dînd carbonat de potasiu conform reacțiunii de mai jos:

$$CO_2 + 2KOH = CO_3K_2 + H_2O$$

Presiunea din balonaș scade și mercurul din cuvetă se urcă în gîtul balonului. Înălțimea coloanei de mercur indică volumul oxigenului absorbit de plante în cursul respirațiunii.

Schleichert a modificat experiența lui Garreau în felul următor: el a introdus într-o pîlnie cilindrică semințe. Pîlnia este astupată cu un dop de cauciuc, de care este fixată o mică eprubetă cu soluție de KOH, care va absorbi bioxidul de carbon degajat de semințe. Ridicarea mercurului în tubul pîlniei ne indică volumul oxigenului absorbit de semințe.

METODELE CANTITATIVE FOLOSITE PENTRU STUDIUL RESPIRAȚIEI

Cantitatea gazelor absorbite și eliminate în cursul respirației plantelor poate fi determinată cu ajutorul eudiometrului. Eudiometrele sînt tuburi gradate și închise la un capăt, în care se introduce materialul vegetal de studiat, de ex. semințe încolțite. Capătul deschis al eudiometrului se introduce în mercur, și astfel se limitează un anumit volum de aer. Făcînd analiza aerului eudiometrului la începutul și la sfîrșitul experienței putem calcula cantitatea oxigenului absorbit și a bioxidului de carbon eliminat în procesul respirației. Pentru analiză se introduce în eudiometru o soluție de KOH, care absoarbe CO_2 și o soluție de pirogalol, care în mediu bazic de hidrat de potasiu absoarbe oxigenul.

Experiențele cu plantele verzi se fac la întunerec, pentru a evita influența fotosintezei asupra cantității oxigenului și bioxidului de carbon din atmosfera confinată.

Scanned with OKEN Scanner

Metodele folosite pentru studiul respiraţiei se bazează în principiu pe analiza gazelor absorbite, respectiv eliminate, de către plantă. Aplicînd metode de analiză cantitativă noi putem determina cantitatea bioxidului de carbon degajat sau a oxigenului absorbit de către plantă în procesul respiraţiei.

Metodele pentru determinarea bioxidului de carbon eliminat de plante în procesul respiraţiei

Materialul vegetal de studiat se aşează în vase bine închise, prin care trecem un curent de aer uscat şi lipsit de bioxid de carbon. Aerul de aici este condus într-o soluţie de barită, care absoarbe bioxidul de carbon degajat de plantă în timpul respiraţiei. Cunoscînd titrul iniţial şi final al soluţiei de barită putem calcula cantitatea bioxidului de carbon degajat de plantă în timpul experienţei. Pe acest principiu se bazează aparatul lui Pettenkoffer (fig. 168).

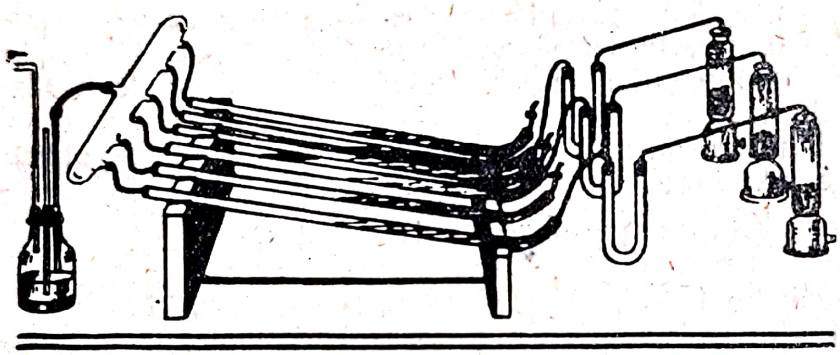


Fig. 168. Aparatul lui Pettenkoffer pentru determinarea bioxidului de carbon eliminat în cursul respiraţiei plantelor. (După Grafe).

Seminţele încolţite se pun în tuburi curbate în formă de U. Aerul care trece prin aceste tuburi este lipsit de bioxid de carbon, trecînd prealabil prin vasele cu calce sodată. Ieşind, aerul din tuburile cu seminţe trece prin nişte tuburi oblice cu soluţie de apă de barită sub formă de bule mici, iar bioxidul de carbon din bulele de aer este absorbit de apa de barită. Cantitatea bioxidului de carbon eliminat în timpul experienţei se determină prin diferenţa dintre concentraţia iniţială şi finală a soluţiei de apă de barită.

Cantitatea bioxidului de carbon eliminat de plantă în timpul respiraţiei o putem determina şi cu ajutorul aparatului redat în fig. 169. Aparatul este compus din cinci vase de sticlă, legate între ele printr-un sistem de tuburi. În sticla *b* introducem flori sau seminţe încolţite. Sticla *b* comunică cu vasul spălător *a*, în care se găseşte o soluţie de hidrat de bariu şi care este în legătură cu rezervorul G, plin cu apă şi prevăzut cu robinetul R. În vasul spălător *c* este o soluţie de $Ba(OH)_2$. Vasul *c* este legat cu vasul *d*, în care se găseşte piatra ponce îmbibată cu KOH. Deschidem robinetul R. Apa va curge din vasul G şi va antrena un curent de aer prin vasul *a*.

Este de notat că vasul G poate fi înlocuit printr-o trompă de apă. Aerul intrat prin vasul *d* va fi curăţit de bioxid de carbon, aşa încît aerul

intrat în sticla *b* nu mai conține bioxid de carbon. Florile sau semințele încolțite din sticla *b* prin respirație absorb oxigen și elimină bioxid de carbon, care va trece în vasul spălător *a* și se combină cu hidratul de bariu, formînd carbonat de bariu.

La sfîrșitul experienței filtrăm soluția din vasul *a*. Diferența dintre greutatea inițială și finală a filtrului ne dă greutatea carbonatului de bariu format. Prin calcinare carbonatul de bariu se descompune în bioxid

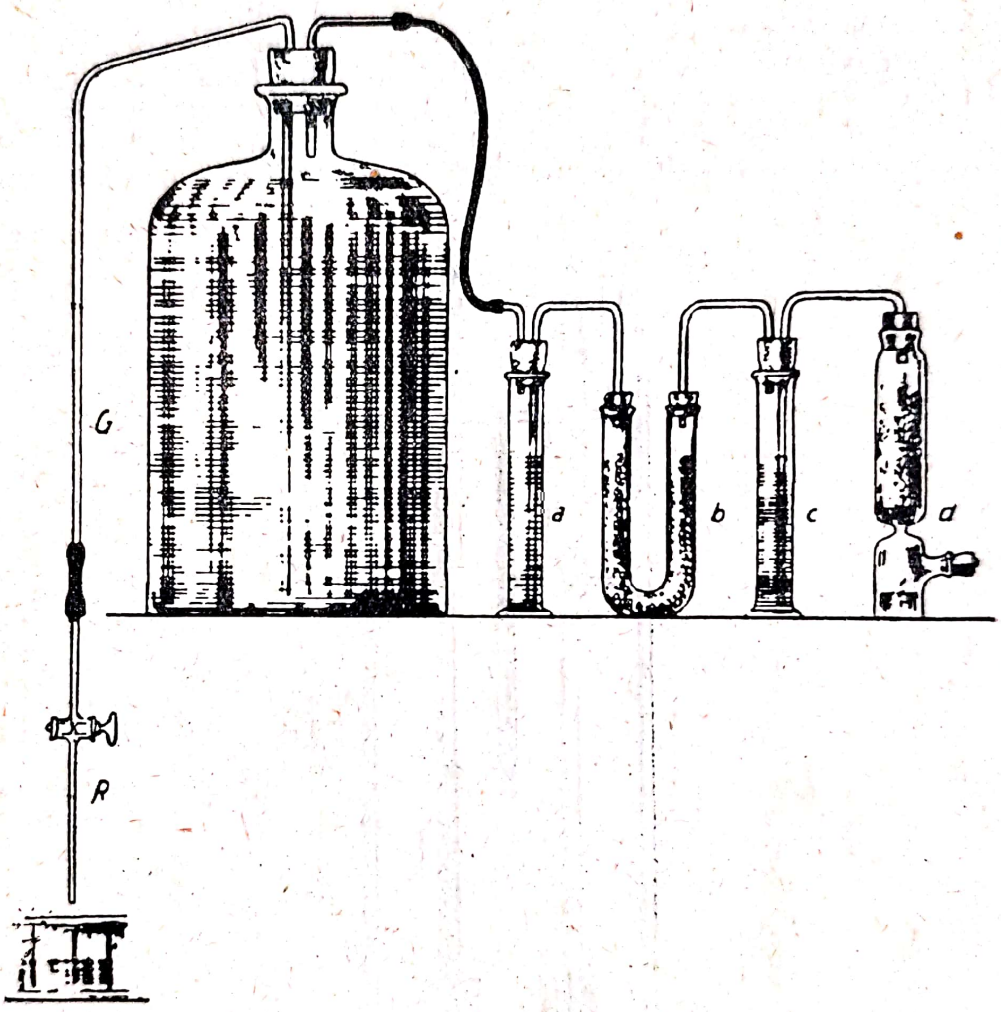


Fig. 169. Aparat pentru determinarea bioxidului de carbon eliminat în respiratie. R — tub de scurgere prevăzut cu robinet ; G — rezervor de apă pentru aspirația aerului ; a — vas spălător cu hidrat de bariu ; b — tub îndoit în formă de U conținînd semințe germinate ; c — cilindru de sticlă cu hidrat de bariu ; d — vas cu hidrat de potasiu (după Detmer).

de carbon și oxid de bariu. Diferența dintre greutatea carbonatului de bariu și oxidului de bariu ne dă greutatea bioxidului de carbon, eliminat de materialul nostru vegetal în timpul cît a durat experiența.

Metodă simplă și rapidă pentru determinarea bioxidului de carbon eliminat de bucăți mici de plante în timpul respirației este a lui V. Frenyo. Bucăți mici de plantă (bucăți mici de tubercul de cartof) se suspendă

în borcănaşe mici, în care în mod prealabil s-a pus o soluţie de 0,001 n de NaOH cu fenolftaleină. Cunoscînd că 1 ml de soluţie 0,001 n de NaOH neutralizează 0,044 mg de CO_2, putem calcula cantitatea de CO_2 eliminat de materialul nostru vegetal dacă măsurăm timpul care a fost necesar pentru neutralizarea hidratului.

Metodele pentru determinarea cantităţii oxigenului absorbit în timpul respiraţiei

Cantitatea oxigenului absorbit în timpul respiraţiei poate fi determinată în mod mai simplu cu ajutorul aparatului lui Detmer (fig. 170).

În două osmometre răsturnate (A,B) se introduce cîte un tampon de vată şi seminţe încolţite. Tuburile osmometrelor sînt introduse în vasele G, G' cu apă colorată. În osmometrul B este atîrnată o mică eprubetă

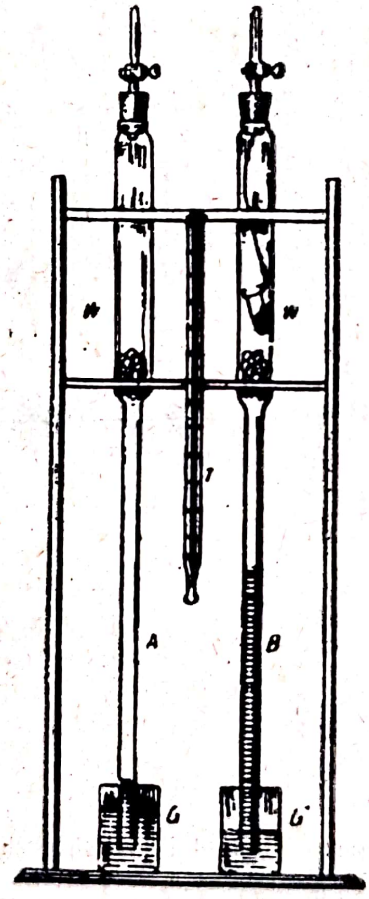


Fig. 170. Aparatul lui Detmer pentru demonstrarea respiraţiei plantelor. Explicaţia în text (după Detmer).

cu soluţie de KOH. Temperatura se poate citi direct pe termometrul T. După un anumit timp apa din tubul osmometrului B se ridică mult. Diferenţa nivelului coloanelor de apă din tubul osmometrului A şi B corespunde cu volumul CO_2 eliminat de seminţe prin respiraţie. Considerînd după reacţia generală a respiraţiei cantitatea bioxidului de carbon eliminat egală cu cantitatea oxigenului absorbit volumul de bioxid de carbon

absorbit de soluția de KOH reprezintă și volumul oxigenului absorbit prin respirație.

Determinarea cantitativă a oxigenului absorbit în timpul respirației se face cu ajutorul respirometrelor. Materialul vegetal respirator se pune într-un recipient în care se găsește o mică eprubetă cu soluție de hidrat de potasiu și astfel bioxidul de carbon este absorbit pe măsură ce se degajă. Recipientul este legat cu un tub lateral gradat și cu un manometru, care ne arată precis schimbarea volumului aerului din interiorul recipientului. Bioxidul de carbon degajat prin respirație este treptat absorbit și deaceea micșorarea volumului total de gaze din interiorul recipientului corespunde cu cantitatea oxigenului absorbit prin respirație. Aceste aparate se numesc respirometre.

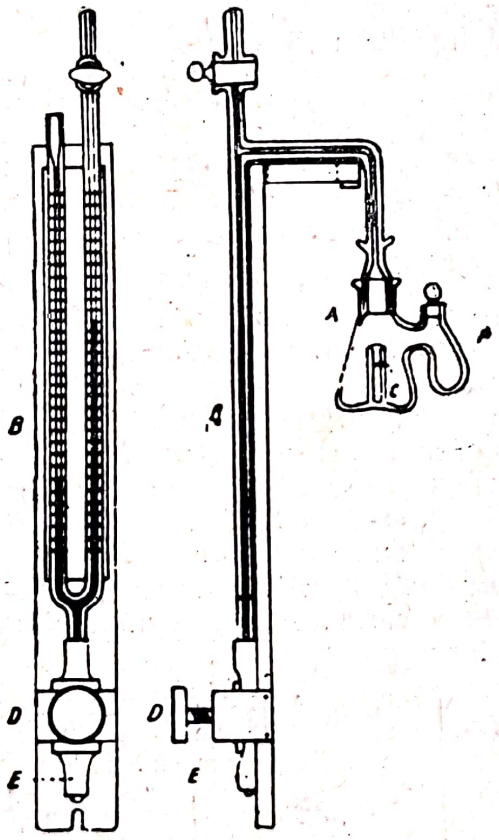


Fig. 171. Respirometru lui Warburg, văzut din față /desenul din stînga/ și lateral/ desenul din dreapta/. A — recipient pentru organele vegetale ; B — manometru ; C — eprubeta KOH ; D — șurub ; E — rezervorul de cauciuc al manometrului ; F — vas lateral cu HCl. Din cartea lui Maximov.

Respirometrul lui Warburg (fig. 171) se compune din două părți principale ; din recipient (fig. 171 A) și dintr-un manometru (fig. 171 B). La începutul experienței, cu ajutorul robinetului D se stabilește lichidul manometric la nivelul dorit. În eprubeta C se toarnă soluția de hidrat de potasiu, care absoarbe bioxidul de carbon. În anexa laterală F se toarnă acid clorhidric.

Cantitatea oxigenului absorbit de plantă se calculează după micșorarea volumului de gaz din manometru.

La sfîrșitul experienței vasul A se înclină, soluția de KOH se amestecă cu HCl și după creșterea volumului de gaz degajat se poate determina cantitatea de CO_2 absorbită de soluția de KOH și, în consecință cantitatea de CO_2 eliminată de plantă.

INTENSITATEA RESPIRAȚIEI LA PLANTE

Experiențele au arătat, că intensitatea respirației la diferite plante și la diferite organe dela aceeași plantă variază.

Cantitatea de bioxid de carbon eliminată de diferite organe vegetale în 24 de ore, la temperatura camerei, raportată la 1 g de substanță uscată variază în felul următor:

frunze crescute	12—24 cm^3
radicule în creștere	40—80 „
mugurii copacilor	35—70 „
semințe germinate	60—120 „
micelii de ciuperci în creștere	270—280 „

Din tabloul de mai sus putem constata, că intensitatea respirației la frunze este slabă, la radicule și muguri ea este mai mare. Intensitatea respirației este mare în cazul florilor, semințelor germinate și miceliilor de ciuperci în creștere.

Măsurătorile precise au arătat și faptul că, procesul respirației este însoțit cu pierdere de materie; s-a observat o scădere a greutății în cursul respirației. Pentru a constata acest fapt greutatea materialului vegetal respirator a fost măsurată înaintea respirației intense (de exemplu înainte de germinație) și după o perioadă de timp de respirație intensă (de exemplu după germinație). Astfel, de exemplu s-a constatat că greutatea substanței uscate a cariopselor de grîu înainte și după germinație variază în felul următor:

La 46 bucăți de cariopsă de grîu		Înainte de germinație	După germinație	Diferență
substanța uscată		1,665 g	0,713 „	0,952 g
bioxidul de carbon		0,785 „	0,320 „	0,465 „
H_2O	hidrogenul	0,095 „	0,043 „	0,052 „
	oxigenul	0,718 „	0,282 „	0,436 „
azotul		0,057 „	0,057 „	—

Scăderea greutății substanței uscate (0,952 g) este egală cu greutatea produselor finale ale respirației, adică greutatea bioxidului de carbon și plus greutatea apei (0,465 + 0,052 + 0,436 = 0,953).

Micșorarea hidrogenului și oxigenului corespunde raportului 1 : 8,3, care este raportul hidrogenului și al oxigenului într-o moleculă de apă.

Micșorarea greutății uscate cauzată de procesul biooxidației este relativ mică: în cursul unei zile o suprafață de 1 m^2 de frunză produce

cca 25 g de amidon în medie și din această cantitate în general se oxidează prin respirație numai 1 gram de amidon.

Raportul ce există între cantitatea oxigenului absorbit și a bioxidului de carbon degajat, $CO_2:O_2$, se numește cît respirator sau coeficient respirator.

Coeficientul respirator în general este egal cu 1. Există însă multe cazuri cînd acest coeficient este mai mic sau mai mare decît unitatea, ceeace ne arată, că volumul oxigenului absorbit nu este întotdeauna egal cu volumul bioxidului de carbon degajat.

În respirația plantelor în general sînt descompuse prin oxidare hidrații de carbon și în special glucoza, după ecuația sumară următoare:

$$C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2 = 6\,CO_2 + 6\,H_2O + 674{,}000 \text{ gram-calorii}$$

În acest caz coeficientul respirator este egal cu unitatea:

$$CO_2 : O_2 = 1$$

Valoarea coeficientului respirator variază și după natura materiilor de rezervă din plante. În cazul cînd aceste substanțe sînt mai bogate în oxigen, coeficientul respirator este mai mare, fiindcă pentru oxidarea acestor substanțe este nevoie de o cantitate mai mică de oxigen. Valori mai ridicate de coeficient respirator găsim în cazul oxidării acizilor organici:

$$2\ \begin{matrix}COOH\\|\\COOH\end{matrix} + O_2 = 4\,CO_2 + 2\,H_2O$$

Raportul $CO_2:O_2$ prin urmare este 4:1=4.

În cazul cînd în respirația plantelor sînt oxidate substanțe sărace în oxigen valoarea coeficientului respirator este mai mică decît unitatea. Astfel în cazul oxidării acidului oleic reacția se petrece în modul următor:

$$2\,C_{18}H_{34}O_2 + 51\,O_2 = 36\,CO_2 + 34\,H_2O$$

Raportul $CO_2:O_2$ prin urmare este 36:51=0,7.

Grăsimile și uleiurile fiind mai sărace în oxigen decît hidrații de carbon, oxidarea lor în procesul respirației plantelor necesită cantitate mai mare de oxigen decît aceea a bioxidului de carbon degajat și prin urmare în acest caz coeficientul respirator este mai mic decît 1.

În tabelul de la pag. 322 sînt redate după datele lui Warming și Johannsen intensitatea respirației și coeficientul respirator la diferite plante conținînd diferite materii de rezervă.

Cunoscînd prin urmare coeficientul respirator putem deduce și natura substanțelor organice folosite în respirație. Valoarea redusă a coeficientului respirator uneori însă rezultă și din oxidarea incomplectă a substanțelor care sînt consumate în respirația plantelor. Așa de exemplu în respirația plantelor suculente hidrații de carbon se oxidează incomplect și astfel produșii finali ai respirației sînt bioxidul de carbon, apa și acizii organici. Acidul oxalic, acidul malic și alți acizi organici din țesuturile acvifere ale Crassulaceelor se formează tocmai în urma acestor oxidațiuni parțiale. Oscilația valorii coeficientului respirator la plantele suculente se datorește tocmai acestei oxidațiuni incomplete. În cazul cînd oxidația materialului de respirație nu trece pînă la formarea CO_2 și H_2O, atunci coeficientul respirator este mai mic decît unitatea.

La plantele suculente noaptea se produc acizi organici și se acidifică sucul vacuolar, iar ziua scade conținutul de acizi organici, intrînd în fotosinteză grupările carboxilice.

(Explicația tabelului vezi pe pag. 321)

La 1 kg. de substanță proaspătă conține:	Temperatura	CO_2/oră mg	O_2/oră mg	$CO_2 : O_2$
Plantule de grîu, de 8 zile, la respirație se oxidează hidrați de carbon	17°C	378	285	0,96
Capsule tinere de mac, în timpul respirației se formează grăsimi	20 „	446	214	1,51
Plantule de cînepă, la respirație se oxidează grăsimi	17 „	497	660	0,55
Frunze de *Nerium oleander*, la întuneric	18 „	226	177	0,93
Ciuperca de cîmp *(Agaricus campestris)*	20 „	334	439	0,55
Rizom de *Convallaria majalis*	17 „	33	24	1,00
Tuberculi de cartof, în procesul respirație se oxidează hidrați de carbon	20 „	7—10	5—8	1,00

În respirația plantelor uneori se oxidează și substanțele proteice și acizii organici. S. P. Kostîcev în afară de tipul „zaharos" de respirație, admite și tipul „proteic" de respirație, la care se oxidează aminoacizii proveniți din hidroliza substanțelor proteice. Produsele finale ale respirației de tip „proteic" pe lîngă CO_2 și apă mai sînt amoniacul și acizii organici, care pot să se oxideze și mai departe pînă la formarea CO_2 și apă. Acest tip „proteic" de respirație apare în celule în lipsa hidraților de carbon și a grăsimilor și se face pe socoteala substanțelor proteice ale protoplasmei. În cazul cînd rezervele de hidrați de carbon din celulă sînt epuizate, începe oxidarea substanțelor proteice din protoplasmă. V. I. Palladin a cunoscut și el acest proces și credea că protoplasma însăși este substanța fundamentală a respirației.

Pe baza celor expuse mai sus, Blackmann deosebește două tipuri de respirație: respirația curentă sau tipică, corespunzătoare tipului „zaharos" și respirația „protoplasmatică", corespunzînd tipului „proteic" al lui S. P. Kostîcev.

Apa de respirație, rezultată din oxidarea substanțelor care sînt consumate în respirația plantelor în parte este transpirată, în parte se îmbibă în membranele celulare ale țesuturilor plantelor.

FACTORII CARE INFLUENȚEAZĂ RESPIRAȚIA

Respirația plantelor fiind una din manifestările vitale ale protoplasmei poate avea loc numai în acele condițiuni în care este posibilă activitatea fiziologică a protoplasmei.

1. Influența temperaturii asupra respirației

Experiențele au arătat că, dacă temperatura mediului scade mult, scade și temperatura plantei și la urmă respirația plantei se oprește. Limita inferioară de temperatură sau temperatura minimă la care respirația se oprește variază foarte mult la diferitele plante. Astfel N. A. Maximov a arătat că respirația mugurilor și frunzelor aciculare ale coniferelor încetează abia la o temperatură de —20, —25°C. Temperatura mai ridicată, de cca 40—50°C, deasemenea poate produce starea de rigiditate fiziologică a protoplasmei și prin urmare oprirea procesului de respirație. Între aceste două extreme de temperatură intensitatea respirației crește direct proporțional cu temperatura. După Rischawi cariopsele germinate de orz într-o oră, la diferite temperaturi elimină următoarele cantități de bioxid de carbon:

Temperatura	5°C	10°C	20°C	30°C	40°C
CO_2 în mg	33	53	125	220	370

Între minimul și maximul de temperatură intensitatea respirației crește conform legii lui Van't Hoff, adică la urcarea temperaturii cu 10°C ea este aproximativ de două ori mai mare. La o anumită temperatură, între temperatura optimă și maximă intensitatea respirației scade brusc.

Variațiunile periodice ale temperaturii deasemenea influențează asupra respirației. Dacă coborîm temperatura mediului în mod brusc dela +20°C la +4°C, intensitatea respirației la început scade brusc, pe urmă crește din nou în mod treptat. O astfel de acțiune exercită asupra respirației în natură variația periodică zilnică a temperaturii.

Influența temperaturii asupra intensității respirației ne explică de ce semințele, tuberculii și fructele trebuie păstrate la temperaturi mai joase. Fenomenul îndulcirii cartofilor este și el în legătură cu respirația tuberculilor de cartof. Se știe că în tuberculii de cartof în timpul respirației lor amidonul este hidrolizat în glucoză și pe urmă în apă și bioxid de carbon. Această descompunere a glucozei cere cel puțin o temperatură de 6°C. Dacă temperatura este mai scăzută, oxidația se face incomplect și rămîne glucoză în celule, care dă gustul dulce al cartofilor. Ridicînd treptat temperatura camerii, oxidarea glucozei se face complect și gustul dulce al cartofilor dispare.

E. V. Arțihovscaia și B. A. Rubin au arătat, că acțiunea temperaturii asupra respirației este în legătură și cu starea de dezvoltare a plantei. Cercetătorii sus-amintiți făcînd experiențe pe pomoidee și citracee au arătat că diferitele sisteme de enzime de respirație variază în cursul maturației fructelor.

În țesuturile fructelor necoapte, verzi, consumarea oxigenului absorbit este determinată într-o măsură de peste 50% de oxidazele, ale căror molecule conțin în gruparea lor prostetică fer sau cupru. În acest fel a fost pusă în evidență existența peroxidazelor și citocromoxidazelor.

În cursul coacerii fructelor în procesele de respirație joacă un rol important enzimele flavoproteice.

Asupra acestor două grupe de enzime respiratorice temperatura acționează în mod diferit. Astfel la temperaturi mai joase respirația este

catalizată mai mult de enzimele flavoproteice, pe cînd la temperaturi mai ridicate oxidazele joacă rol mai important.

Acţiunea diferită a acestor două grupe de fermenţi asupra respiraţiei în funcţie de temperatură ne arată clar caracterul adaptiv al procesului respiraţiei.

Cu toate că temperatura variază în cursul dezvoltării ontogenetice a plantelor, aceste două categorii de fermenţi fac posibilă în orice fază a dezvoltării o anumită intensitate a respiraţiei.

S-a observat că la temperaturi mai joase în legătură cu respiraţia cresc procesele aerobe.

2. Influenţa luminii asupra respiraţiei plantelor

Lumina influenţează asupra fotosintezei, adică şi asupra substanţelor care se consumă în procesele biooxidative şi astfel în mod indirect influenţează asupra respiraţiei plantelor verzi (Borodin), ştiut fiind, că respiraţia este legată de cantitatea şi calitatea substanţelor asimilate.

3. Acţiunea substanţelor toxice şi narcotice asupra respiraţiei plantelor

Respiraţia plantelor este influenţată şi de anumite substanţe toxice şi narcotice. Astfel de exemplu narcoticele ca eterul etilic în concentraţiuni mici accelerează, iar în concentraţiuni mai mari inhibează respiraţia la plante. În mod asemănător acţionează anumite săruri, diferite metale, alcaloizi etc.

4. Influenţa factorilor mecanici asupra respiraţiei plantelor

Diferitele acţiuni mecanice cum sînt tăierea, înţeparea şi alte acţiuni de rănire în general măresc intensitatea respiraţiei. Böhm şi Stick secţionînd tuberculi de cartofi au remarcat că tuberculii răniţi respiră cam de patru ori mai intens decît tuberculii martori nesecţionaţi.

5. Influenţa sărurilor nutritive din sol asupra respiraţiei plantelor

În sol se găsesc substanţe chimice care conţin oxigen legat cu valenţe chimice. Unele din aceste substanţe (KNO_3) prin decompunere cedează uşor oxigenul şi acesta pe urmă poate fi utilizat în respiraţie de diferitele plante ce cresc în acest sol.

6. Influenţa compoziţiei chimice a aerului asupra respiraţiei plantelor

Compoziţia chimică a aerului are importanţă foarte mare pentru respiraţia plantelor. Cercetînd respiraţia plantelor în atmosfere cu diferite concentraţiuni de oxigen, punînd plantele sub diferite presiuni ale oxigenului, s-a observat o influenţă a cantităţii oxigenului între anumite limite asupra intensităţii respiraţiei. Dacă cultivăm diferite plante

în atmosferă care conține numai oxigen, intensitatea respirației nu se schimbă. Mărind însă presiunea oxigenului în acest dispozitiv la 2-3 atmosfere intensitatea respirației crește brusc. Intensificînd însă presiunea oxigenului, respirația se oprește și planta moare.

Se știe că aerul atmosferic în general conține 23% oxigen, adică la 100 kg de aer se găsesc 23,28 kg oxigen. Dacă însă conținutul de oxigen al aerului scade la 1-2% atunci intensitatea respirației se micșorează, coeficientul respirator crește și în celulele plantelor se formează alcool etilic.

În mediu lipsit de oxigen plantele de asemenea degajă bioxid de carbon. În lipsa oxigenului liber al aerului înconjurător, oxigenul necesar pentru procesele de biooxidațiune ale plantei rezultă din substanțele diferite din corpul plantei care conțin exigen; din materialul respirator (hidrați de carbon etc.) și apă.

Respirația care se face în lipsa oxigenului atmosferic se numește respirație intramoleculară sau respirație anaerobă. În acest caz materialul respirator este descompus de protoplasmă în mod enzimatic. Astfel de exemplu moleculele de glucoză sînt descompuse în alcool etilic și bioxid de carbon conform schemei de mai jos:

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2\ CH_3 \cdot CH_2OH + 2\ CO_2 + 25000\ g\ cal.$$

Se remarcă că molecula de alcool etilic format prin această descompunere este mai săracă în oxigen de cît molecula de bioxid de carbon. În procesul respirației intramoleculare o grupă de atomi a moleculei descompuse primește oxigen de la cealaltă grupă a moleculei, de cele mai multe ori de la o grupă hidroxilică.

Se remarcă de asemenea și faptul că cantitatea de energie (25.000 gram calorii) eliberată în procesul respirației anaerobe este mult mai mică decît acea cantitate de energie (674.000 gram calorii) pusă în libertate cu ocazia oxidării totale a moleculei de glucoză. Energia produsă prin respirație anaerobă nu poate acoperi necesitatea de energie pentru procesele biochimice ce se petrec în protoplasma plantelor Anthophyte și de aceea planta în mediu lipsit de oxigen moare.

În acest fel după cum respirația se petrece cu sau fără absorbția oxigenului atmosferic molecular se pot deosebi două fenomene de respirație: o respirație aerobă, care se produce în prezența și cu ajutorul oxigenului atmosferic și o respirație anaerobă care se petrece în lipsa oxigenului aerului (S. P. Kostîcev). Între aceste două feluri de respirație există mai multe treceri sau aceste două forme de respirație se pot petrece și în mod succesiv în același organism.

Organismele care respiră în mod aerob sînt aerobionte, iar acele care respiră anaerob se numesc anaerobionte.

Organismele aerobe sau aerobiontele oxidează cu ajutorul oxigenului atmosferic substanțele asimilate din corpul lor, transformîndu-le în simple combinațiuni anorganice și în același timp eliberează energia chimică care a fost înmagazinată în acest material respirator. Respirația aerobă de aceea se mai numește și respirație de oxidare.

Organismele anaerobe sau anaerobiontele în schimb descompun combinațiuni organice mai complexe în combinațiuni mai simple dar tot

organice şi cu un conţinut mai mic de energie. Anaerobiontele se pot împărţi în două grupe mari: 1. anaerobiontele veritabile sau obligate sînt acele organisme care nu numai că nu pretind prezenţa oxigenului molecular atmosferic pentru procesele lor de respiraţie, dar acest oxigen acţionează toxic asupra proceselor lor vitale; 2. anaerobiontele facultative, care pot realiza ambele forme de respiraţie.

7. Influenţa gradului de imbibiţie al coloizilor din protoplasmă asupra respiraţiei

Am văzut că apa influenţează asupra gradului de imbibiţie al coloizilor din protoplasmă. Dat fiind că substanţele care se consumă în respiraţia plantelor se oxidează numai dacă sînt dizolvate în apă, se înţelege că gradul de imbibiţie al biocoloizilor în mod indirect influenţează asupra intensităţii respiraţiei. Măsurînd cantitatea de bioxid de carbon eliminat în respiraţie s-a găsit că în curs de 24 de ore:

1 kg de orz uscat elimină 0,3-0,4 mg CO_2
1 kg de orz conţinînd 12-14% apă elimină 1,3-1,5 mg CO_2
1 kg de orz conţinînd 30-35% apă elimină 2,0 g CO_2.

8. Influenţa stadiului de dezvoltare ontogenică asupra respiraţiei plantelor

Coeficientul respirator variază cu gradul de germinare a seminţelor, aşa cum ne arată şi tabelul de mai jos:

la îmbibarea cu apă a seminţelor	$CO_2 : O_2$	$= \pm 1$
la 2-4 zile după germinare	„	$= 0{,}60$
la 4-6 zile după germinare	„	$= 0{,}55$
după terminarea germinaţiei	„	$= \pm 1$

S-a observat de asemenea că intensitatea respiraţiei variază după gradul de dezvoltare al organelor plantelor. În tabelul de mai jos sînt date cantităţile de CO_2 degajate într-o oră şi calculate la 1 g de substanţă uscată de frunze de floarea soarelui de vîrstă diferită:

Frunze de floarea	soarelui de	22	de zile	elimină	3,0 mg CO_2
„	„	36	„	„	0,81 „ „
„	„	50	„	„	0,46 „ „
„	„	64	„	„	0,34 „ „
„	„	99	„	„	0,25 „ „
„	„	136	„	„	0,08 „ „

Din datele de mai sus reiese că organele mai tinere respiră mai intens decît cele mai în vîrstă şi care nu mai cresc.

N. M. Sisakian şi I. I. Filipovici au arătat, că intensitatea respiraţiei în embrionul şi endospermul din cariopsele de grîu şi orz în cursul iarovizării creşte. Această creştere a intensităţii respiraţiei este în legătură cu schimbarea activităţii enzimatice.

S-a observat că în primele zile ale iarovizaţiei citocromoxidazele sînt foarte active, acţiunea lor fiind decisivă în stadiul incipient al dezvoltării. Activitatea citocromoxidazei în cursul iarovizaţiei scade (de expl.

Scanned with OKEN Scanner

la grîu) sau se inactivează complect (de expl. la orz) și acțiunea ei este înlocuită prin acțiunea altor oxidaze cuproproteice, și anume prin acțiunea ascorbinoxidazei în embrion și prin acțiunea polifenoloxidazelor în endosperm. La sfîrșitul iarovizației procesele de biooxidațiune sînt activate de ascorbinoxidază și pe urmă din nou de citocromoxidaze.

În timpul iarovizației în embrion și în endosperm acționează și peroxidazele și dehidrazele, acțiunea cărora de asemenea se modifică. Astfel s-a observat că în embrionul orzului de toamnă și de primăvară activitatea succinodehidrazei în cursul dezvoltării scade treptat, pînă ce la urmă dispare și în același timp apare malicodehidraza și crește în mod considerabil activitatea citocromdehidrazei.

II. FERMENTAȚIILE

Acele procese fiziologice în cursul cărora fără intervenția oxigenului molecular atmosferic anumite combinațiuni organice se descompun în combinațiuni mai simple și în același timp se eliberează energie V. M. Fedorov le numește fermentații.

Fermentația și respirația, în esență sînt procese identice. Ambele procese sînt urmate de eliberarea de energie. Din punct de vedere chimic stadiile inițiale ale ambelor procese pot fi asemănătoare, se deosebesc doar numai stadiile lor mai avansate sau cele finale. În respirație hidrații de carbon sînt complect oxidați, eliberarea de energie în acest proces este mai avansată pe cînd în procesele finale ale fermentației se mai găsesc cantități considerabile de energie.

Fermentațiile sînt cunoscute de om din cele mai vechi timpuri istorice și au fost întrebuințate pentru pregătirea băuturilor alcoolice, pentru panificare etc. Cauza fenomenului și însăși esența procesului a fost cunoscută și clarificată abia în secolul trecut. Rolul important pe care îl are drojdia de bere în procesul fermentației a fost cunoscut de Cagniard de la Tour și dovedit în mod experimental de L. Pasteur. La început Berzelius și Liebig au crezut că fermentația este un simplu proces catalitic și numai Pasteur a arătat că ea este un proces biologic, „viață fără aer".

După natura produselor finale ce se formează în diferitele fermentațiuni putem deosebi fermentația alcoolică, lactică, acetică etc.

Fermentația alcoolică

În procesul fermentației alcoolice drojdia de bere *(Saccharomyces cerevisiae)* fermentează soluțiile zaharate și se produce alcool etilic și se degajă bioxid de carbon. Pentru acest proces nu este necesar oxigen liber atmosferic. Drojdia de bere în tot timpul vieții sale eliberează energia necesară realizării proceselor sale vitale în mod anaerob, și de aceea acest mod de viață se numește anaerobioză.

Procesul fermentației alcoolice poate fi exprimat prin ecuația lui Gay-Lussac precum urmează:

$$1 \text{ mol } C_6H_{12}O_6 = 2\text{mol } CH_3 \cdot CH_2OH + 2 \text{ mol } CO_2 + 25000 \text{ g cal.}$$

E. Bűchner a luat celule de drojdie de bere, le-a pisat și le-a frecat cu nisip de cuarț și cu pămînt de diatomee. Materialul astfel obținut l-a presat sub presă hidraulică la o presiune de 500-600 atmosfere și astfel a obținut un lichid transparent de culoare galben-brună și care era lipsit de celule vii. Extrasul de drojdie de bere astfel obținut fermentează diferite zaharuri cum sînt glucoza, manoza, zaharoza și maltoza. Substanța activă a extrasului de drojdie de bere a fost clasată de Bűchner între enzime și a fost numită zimază.

O metodă mai simplă pentru obținerea zimazei a fost propusă de P. Lebedev. După această metodă celulele de *Saccharomyces cerevisiae* se tratează cu acetonă, se usucă și la urmă zimaza se extrage cu apă.

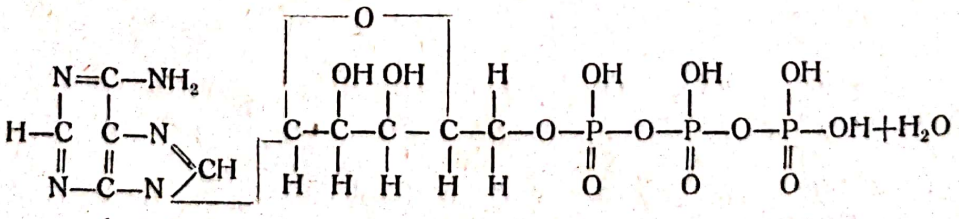
Cercetările făcute mai tîrziu au arătat că zimaza nu este o singură enzimă, ci ea este un amestec de mai multe enzime.

În urma cercetărilor făcute de C. Neuberg, S. P. Kostîcev, O. Meyerhof și alții s-a dovedit că fermetația este un proces complex în care se desfășoară mai multe procese parțiale înlănțuite unul după altul. În diferitele faze ale fermentației acționează diferite enzime și sub acțiunea acestora se formează diferite substanțe transformîndu-se unele în altele. Mai mulți cercetători, ca Z. A. Ivanov, A. Harden și I. Young au arătat că în primele faze ale procesului de fermentație prin diferite acțiuni de fosforilare se formează combinațiuni între zaharuri și acidul fosforic sub formă de esteri fosforici.

S-a observat că fermentația glucozei se încetinește foarte mult în lipsa fosfatului anorganic. S-a observat de asemenea că adăugînd fosfat la soluția de zahăr intensitatea fermentației este de 10-20 ori accelerată, în același timp fosfații anorganici din soluție dispar din nou și fermentația se oprește. Din astfel de rezultate s-a ajuns la concluzia că fosfații sînt necesari în procesul fermentației pentru fosforilarea zaharurilor.

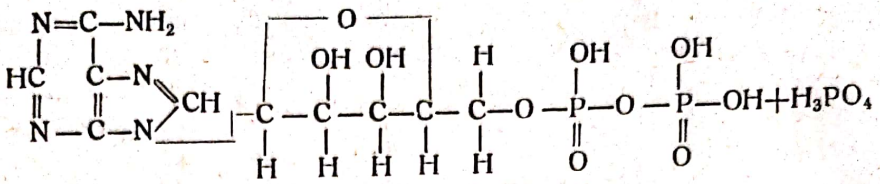
În procesul de combinare a zaharurilor cu acidul fosforic, în așa numitul proces de fosforilare un rol important îl are adenozintrifosfatul. Adenozintrifosfatul în literatura internațională științifică poartă simbolul ATP după inițialele componenților lui principali. ATP este un acid nucleic, și anume acidul adenin-riboz-trifosforic și care poate fi considerat ca grupa prostetică a unei enzime.

În cursul reacțiunilor de fosforilare din molecula de ATP se desprinde acidul fosforic și se combină cu o moleculă de zahăr și în același timp se formează acid adenozindifosforic. Cu ocazia desprinderii acidului fosforic din molecula de ATP se eliberează mari cantități de energie și anume pentru fiecare gram mol de acid fosforic format se eliberează 10.000-12.000 calorii mari. Descompunerea ATP-ului și desprinderea fosfatului este reprezentată prin schema de mai jos:

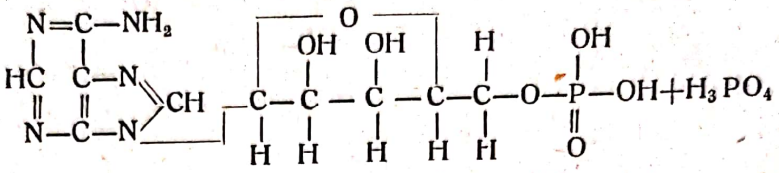


adenină — grupare de riboză — grupare de acid fosforic

ATP = adenozintrifosfat



ADP = adenozindifosfat



AMP = adenozinmonofosfat

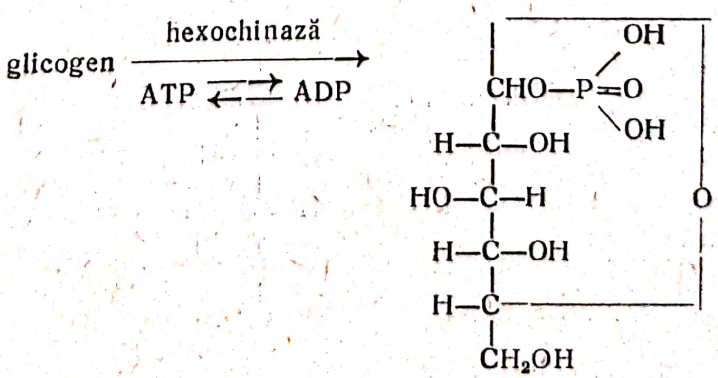
(acidul adenozin—5—fosforic sau acidul adenilic)

In reacțiunile înlănțuite între ele ale fermentației substanțele mereu se transformă unele în altele. Prin extragerea enzimelor sau prin tratarea lor cu substanțe toxice, cercetătorii au reușit să oprească reacțiunile în formă de lanț ale fermentației și astfel s-au putut stabili și studia diferitele trepte ale transformărilor chimice din procesul de fermentație. Oprind acțiunea enzimatică la un anumit punct, seria reacțiunilor la acest punct se oprește, iar produsele de transformare se aglomerează și astfel li s-a putut studia natura chimică.

In mecanismul procesului de fermentație alcoolică în mod simplificat putem deosebi cinci etape sau procese parțiale legate foarte strîns între ele.

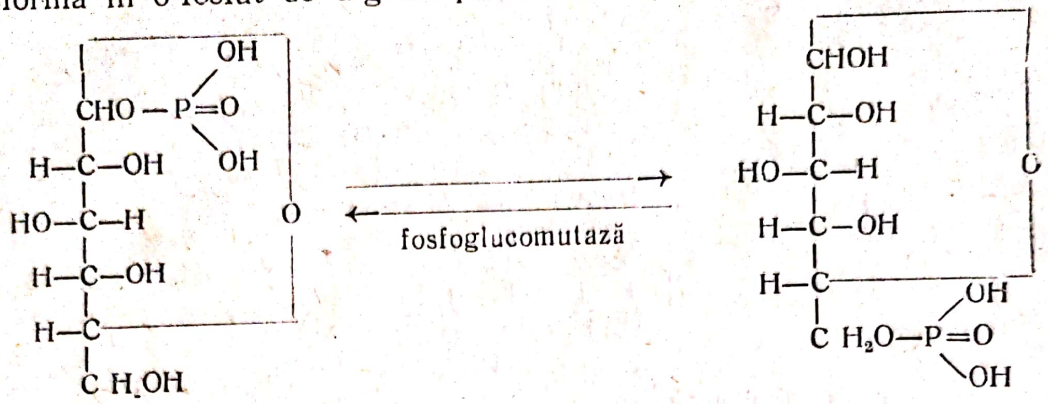
1. In celula drojdiei de bere, din glucoză se formează glicogen. Acest glicogen sub acțiunea sistemului enzimatic al acidului adenilic prin descompunerea legată de fosforilare trece prin mai multe reacții chimice parțiale și se transformă în zaharuri fosforilate. Partea coenzimatică a sistemului enzimatic al acidului adenilic conține legături esterice de acid trifosforic (ATP).

In prezența fosfatului anorganic, sub acțiunea enzimelor de fosferilare din glicogen se formează 1-fosfat de d-glucopiranoză (esterul lui Cori), conform reacțiunii de mai jos:



1-fosfat de d-gluco-piranoză.

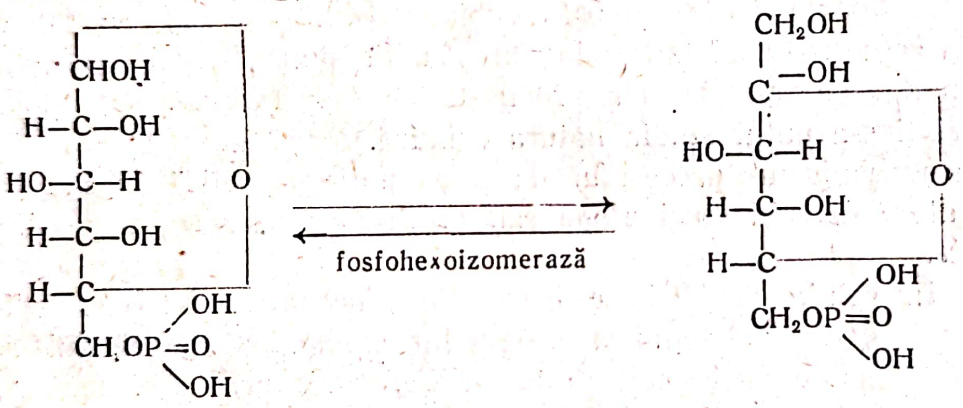
1-fosfatul de d-gluco-piranoză sub acțiunea fosfoglucomutazei se transformă în 6-fosfat de d-gluco-piranoză, numit și esterul lui Robison:



1. fosfat de d-gluco-piranoză

6-fosfat de d-gluco-piranoză

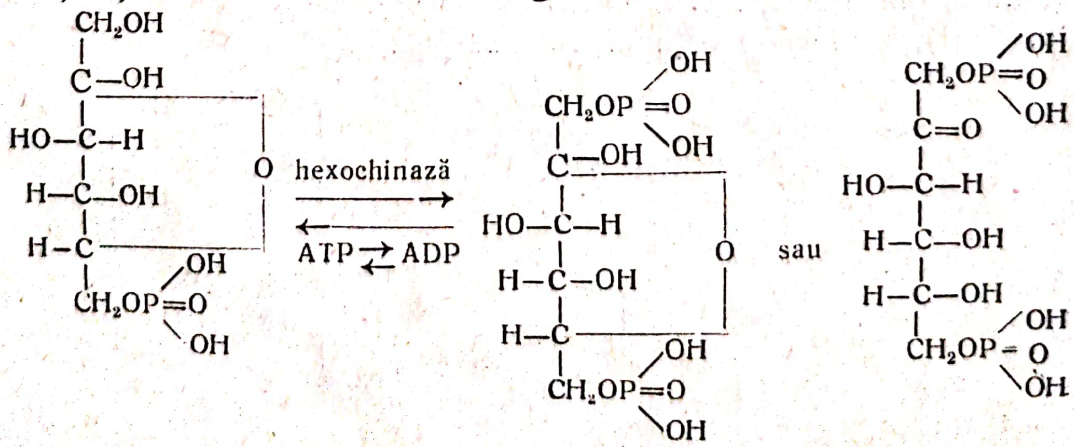
Conform acestui sistem de echilibru o parte din esterul lui Robison sub acțiunea unei izomeraze se transformă în 6-fosfat de d-fructo-furanoză (esterul lui Neuberg):



6-fosfat de d-gluco-piranoză

6-fosfat de d-fructo-furanoză

6-fosfatul de d-fructo-furanoză sub acțiunea hexochinazei și prin reacții de fosforilare se transformă în 1,6-difosfat de fructofuranoză, care se mai numește și esterul lui Harden-Young:

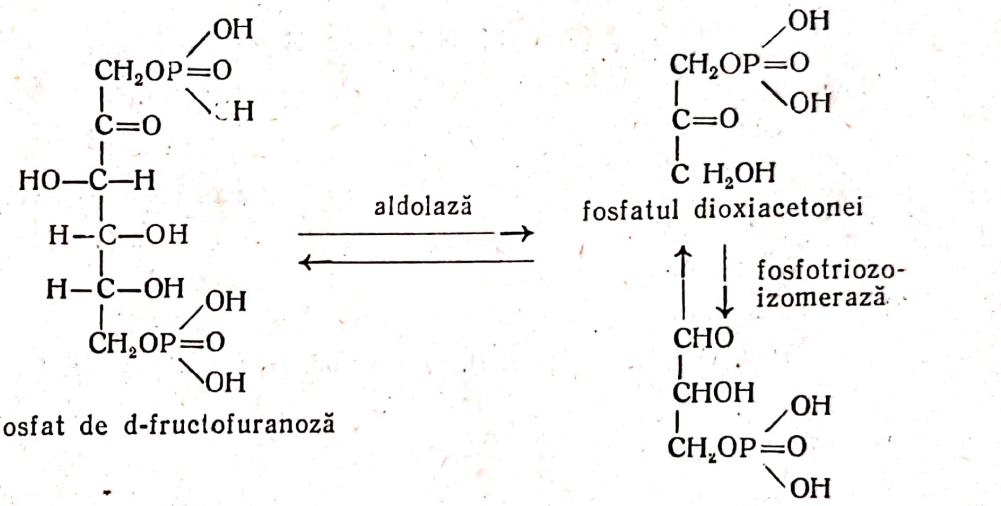


6-fosfat de d-fructo-furanoză

1,6-difosfat de d-fructo-furanoză

2. Difosfatul de hexoză în faza a doua a fermentației alcoolice prin depolimerizare alcoolică trece în esteri fosforici de trioze.

S-a constatat de fapt că dacă la lichidul de fermentație în care deja s-au format esterii fosfatici ai lui Cori, Robison, Neuberg și Harden-Young, se adaugă acetat de iod, procesul fermentației se oprește la acest punct și în lichid apare esterul fosforic al aldehidei glicerice. Acești derivați tricarbonici s-au format prin scindarea în două a moleculei de zahăr sub acțiunea enzimei numite zimohexază sau aldolază. Aldolaza descompune 1,6-difosfatul de d-fructo-furanoză în fosfatul dioxiacetonei. S-a constatat că în lichidul de fermentație mai este prezentă și enzima numită fosfotriozo-izomerază care catalizează transformarea fosfatului dioxiacetonei în esterul fosforic al aldehidei glicerice (fosfatul d-gliceril-aldehidei) numit și esterul lui Fischer. Această transformare se petrece în felul următor:

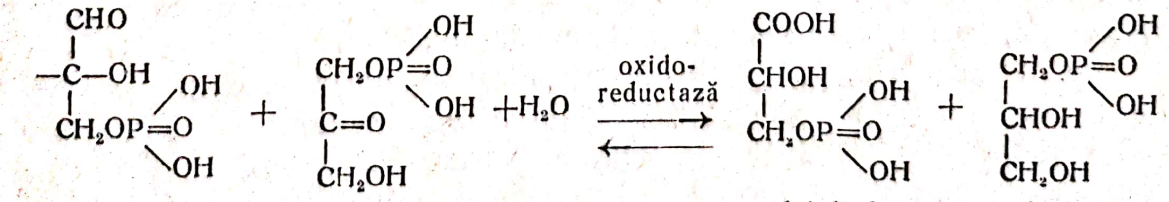


1,6-difosfat de d-fructofuranoză

esterul fosforic al aldehidei glicerice

Descompunerea moleculei esterului lui Harden-Young este un proces reversibil. Aldolaza obținută din extrasul de drojdie de bere poate cataliza dimerizația aldolică a dioxiacetonei cu aldehide alifatice. Izomeraza de asemenea catalizează în mod reversibil procesul de transformare ce se petrece între cele două molecule de fosfat de trioză și astfel între ele se formează un sistem de echilibru.

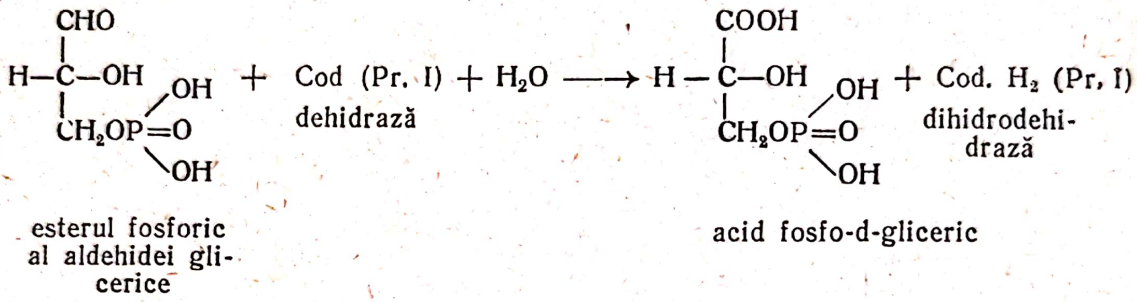
3. În cursul reacțiunilor din a treia fază a fermentației alcoolice se petrece o disproporționare de tip Cannizzaro între aceste două substanțe și în urma acestor transformări oxido-reductoare se formează acidul fosfo-d-gliceric (acidul fosfo-3-gliceric) și fosfatul glicerinei:



esterul fosforic al ald hidei glicerice — fosfatul dioxiacetonei — acidul fosfo-d-gliceric — fosfatul glicerinei

Reacţia lui Cannizzaro este catalizată de o dehidrază care este capabilă să ia hidrogen prin dehidrogenare iar forma ei hidrogenată prin cedarea hidrogenului poate hidrogena alte combinaţiuni chimice. Activitatea dehidrazei este legată de acţiunea unei coenzime. Coenzima dehidrazei este numită codehidrază şi ea este o nucleotidă cristalizabilă. Reprezentînd codehidraza prin simbol Cod, apoenzima dehidrazei prin Pr. I. şi apoenzima unei alte enzime prin Pr. II. atunci activitatea dehidrazei în faza a treia a fermentaţiei alcoolice poate fi reprezentată în felul următor :

a)



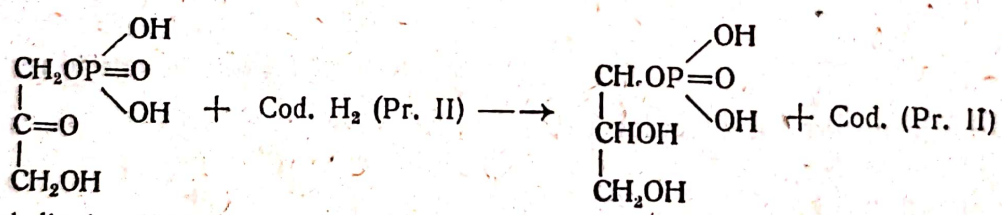
esterul fosforic al aldehidei glicerice

acid fosfo-d-gliceric

b)

$$\text{Cod. } H_2 \text{ (Pr. I)} + \text{Pr. II.} \longrightarrow \text{Cod. } H_2 \text{ (Pr. II)} + \text{Pr. I}$$

c)



fosfatul dioxiacetonei

ester glicerofosforic

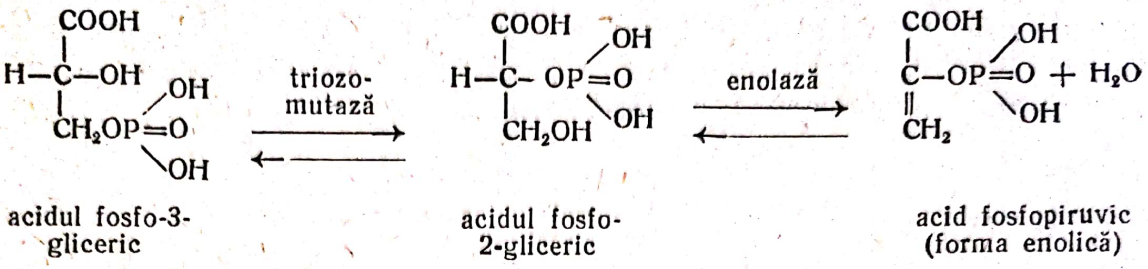
d)

$$\text{Cod. (Pr. II)} + \text{Pr. I} \longrightarrow \text{Cod (Pr. I)} + \text{Pr. II.}$$

Fosfatul glicerinei se formează din fosfatul dioxiacetonei şi prin hidroliză trece uşor în glicerină şi acid fosforic, fapt ce explică prezenţa glicerinei ca produs secundar în fermentaţia alcoolică.

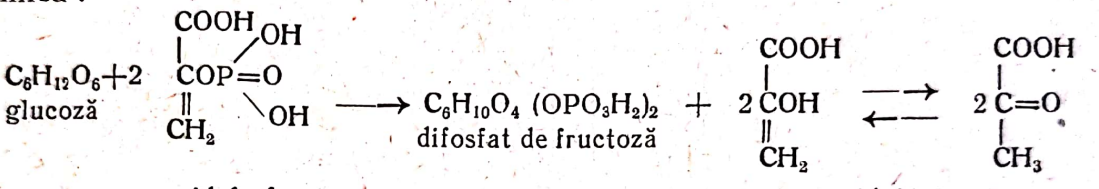
4. În faza a patra se petrece esterificarea intramoleculară a acidului fosfo-d-gliceric sub acţiunea reversibilă a triozomutazei şi se formează acid fosfo-2-gliceric. În urma acţiunii enzimatice reversibile cele două substanţe componente formează un amestec de echilibru. Sub acţiunea enolazei (fosfo-piruvofosfoferază) acidul fosfo-2-gliceric prin pierderea unei molecule de apă se transformă în forma enolică a acidului fosfo-

piruvic. Formarea acestui amestec complex de echilibru poate fi reprezentată în modul următor:



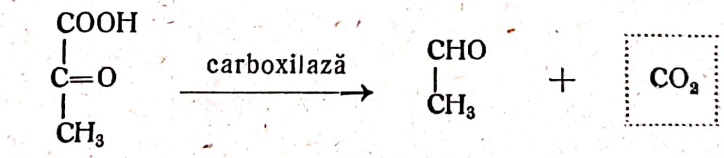
acidul fosfo-3-gliceric — acidul fosfo-2-gliceric — acid fosfopiruvic (forma enolică)

Forma enolică a acidului fosfopiruvic mai departe se descompune în acid piruvic, și acid fosforic, care cu o nouă moleculă de glucoză se transformă în difosfat de fructoză, sub acțiunea enzimelor de fosforilare. Reacția de transformare poate fi exprimată prin următoarea ecuație chimică:



glucoză — acid fosfo-piruvic — difosfat de fructoză — acidul piruvic, forma enolică — acidul piruvic, forma cetonică

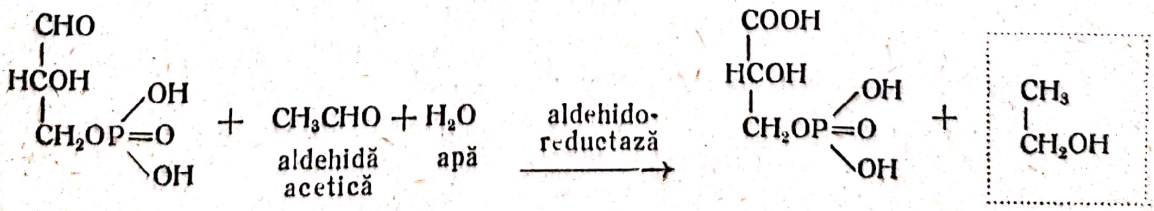
Sub acțiunea fermentului carboxilază acidul piruvic format se descompune în aldehidă acetică și bioxid de carbon:



acidul piruvic — aldehidă acetică — bioxid de carbon

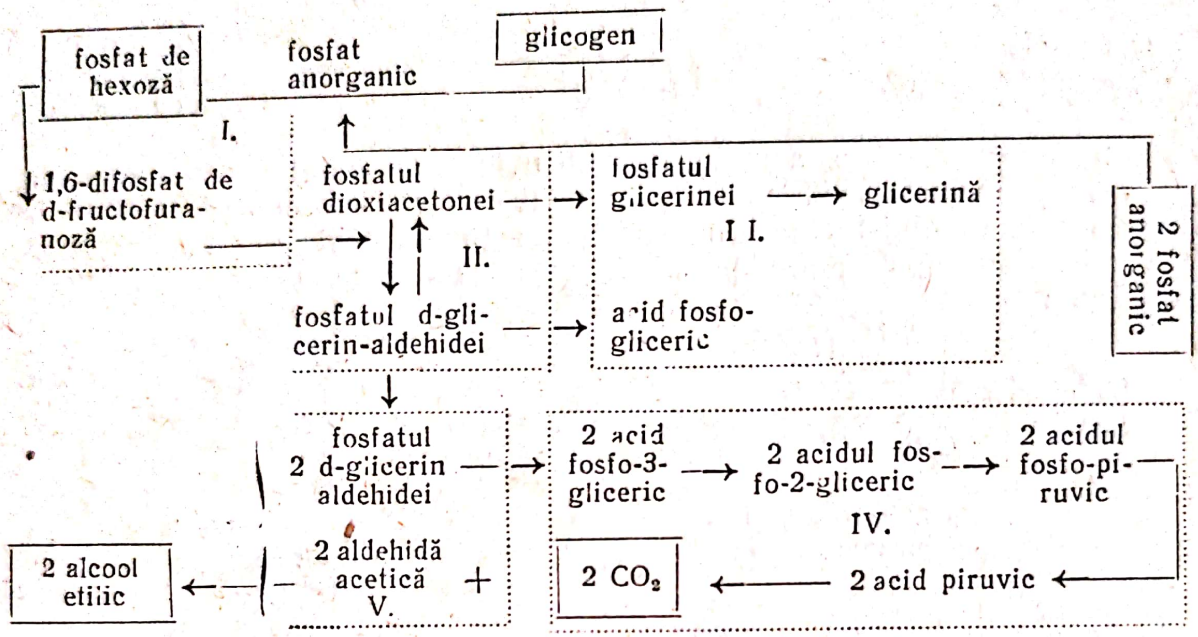
În faza aceasta de descompunere a acidului fosfogliceric se formează unul din produsele finale ale fermentației alcoolice, bioxidul de carbon.

5. În ultima fază a fermentației alcoolice se realizează reacția lui Cannizzaro pentru esterul fosforic al aldehidei glicerice format în faza a doua și pentru aldehida acetică formată în faza a patra în urma căreia se formează acidul fosfogliceric și alcool etilic. Reacția se petrece în felul următor:



esterul fosforic al aldehidei glicerice — aldehidă acetică — apă — acidul fosfo-3-gliceric — alcool etil c

Acidul fosfogliceric format în această ultimă fază se transformă în aldehidă acetică. Reacţiunile descrise în aceste cinci faze din fermentaţia alcoolică se repetă pînă ce toată cantitatea de glucoză se transformă în alcool etilic şi bioxid de carbon. Lanţul de reacţii intermediare al fermentaţiei alcoolice poate fi rezumat în schema de mai jos:



Fermentaţia alcoolică în formă pură poate fi provocată de specii de *Saccharomyces* şi anume rasele diferite de *Saccharomyces cerevisiae* şi *S.ellipsoideus*. Unele Phycomycete cum sînt speciile de *Mucor* şi *Rhizopus* precum şi unele Ascomycete cum sînt unele specii de *Penicillium* şi *Aspergillus* de asemenea pot descompune zaharurile producînd fermentaţii alcoolice totale sau parţiale.

Dintre bacterii unele specii de asemenea pot produce pînă la un anumit grad fermentaţia alcoolică dintre acestea putem aminti speciile *Pseudomonas Lindneri, Bacillus macerans, B.granulobacter pectinovorum, Eischerichia coli* etc. care pot fermenta pentoze, hexoze şi dizaharide. În aceste procese de fermentaţii mixte pe lîngă alcool etilic şi bioxid de carbon se mai formează acetonă (fermentaţie acetono-alcoolică), acid lactic (fermentaţie lactică netipică) şi acid acetic.

Fermentaţiile alcoolice parţiale sau mixte produse de ciuperci şi bacterii au importanţă în biologia solului, în descompunerea şi transformarea materiilor organice ale organismelor moarte din sol.

Esenţa biologică a lanţului de reacţii intermediare al procesului de fermentaţie este că energia înmagazinată în diferitele substanţe organice nu se eliberează deodată ci în rate în cursul reacţiilor intermediare.

Fermentaţia alcoolică are aplicaţii practice la fabricarea drojdiei de bere, a aluatului, a pîinii şi a băuturilor alcoolice.

Scanned with OKEN Scanner

FERMENŢAŢIA LACTICĂ

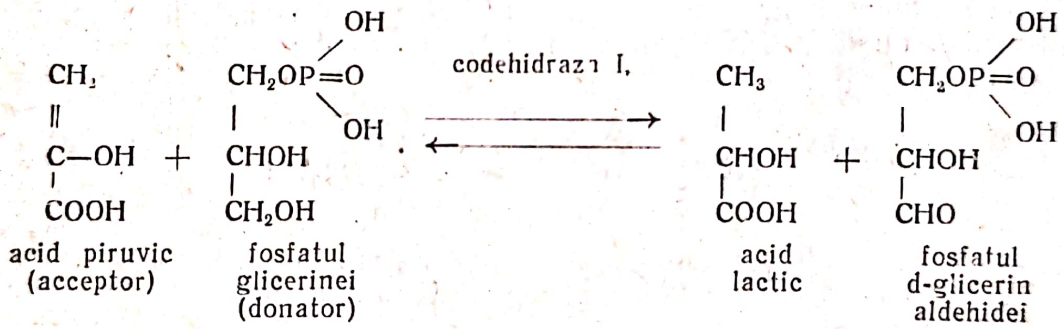
Fermentaţia lactică este tot un proces anaerob provocat de activitatea enzimatică a bacteriilor şi ciupercilor. Dintre bacterii de exemplu *Streptococcus lactis, Leuconostoc citrovorum, L. dextranicum, L.mesenteroides, Lactobacillus bulgaricus, L.Delbrückii, L.Casei* şi *Aerobacter aerogenes*, iar dintre ciuperci unele specii de *Mucor* şi *Rhizopus* pot produce fermentaţie lactică. În cursul procesului de fermentaţie lactică din descompunerea moleculelor de lactoză se formează acid lactic şi se eliberează energie.

Mersul fermentaţiei lactice poate fi exprimată prin următoarea ecuaţie chimică :

$$\underset{\text{lactoză}}{C_{12}H_{22}O_{11}} + H_2O \longrightarrow \underset{\text{glucoză}}{C_6H_{12}O_6} + \underset{\text{galactoză}}{C_6H_{12}O_6}$$

$$\underset{\text{glucoză}}{C_6C_{12}O_6} \longrightarrow 2\ \underset{\text{acid lactic}}{CH_3 \cdot CHOH - COOH} + 22{,}5\ \text{Cal.}$$

Fermentaţia lactică este compusă de asemenea dintr-un lanţ de reacţii intermediare, în care pînă la formarea acidului piruvic reacţiunile parţiale se petrec la fel ca şi în fermentaţia alcoolică cu deosebirea că mai departe acidul piruvic sub acţiunea codehidrazei se reduce direct formînd acid lactic conform schemei de mai jos :



După K. Rudakov procesele enzimatice ale fermentaţiei lactice sînt foarte strîns legate de granulele protoplasmatice de natură nucleo-proteidică.

Fermentaţia lactică are aplicaţiuni largi în industria laptelui (laptele Mecinicov, kefir, kumis, yoghurt, etc.), în silozuri, în prepararea murăturilor, în industria de panificare, în industria de vopsitorie, de piele etc.

Prepararea laptelui acru se bazează pe activitatea fiziologică a unor bacterii *(Streptococcus lactis, Lactobacillus bulgaricus* şi *Bacterium acidophilum)* ce fermentează zaharurile din lapte, descompunîndu-le în acid lactic.

În prepararea verzei murate joacă un rol important specia *Bacterium Brassicae,* care poate fermenta zaharurile din varză, descompunîndu-le în acid lactic. În prepararea castraveţilor muraţi joacă un rol specia *Bacterium cucumeris fermentati.*

În prepararea pîinei acre se desfăşoară două procese fermentative. Sub influenţa drojdiei de bere se produce un proces de fermentaţie alcoolică ce cauzează dospirea aluatului, iar gustul său acru se datoreşte formării acidului lactic rezultat în urma fermentaţiei lactice.

Fermentaţia propionică

Fermentaţia propionică o putem considera ca o continuare a fermentaţiei lactice în care acidul lactic format sub acţiunea enzimatică a unor bacterii specifice se fermentează mai departe şi se formează acid propionic.

Procesul fermentaţiei propionice este reprezentat de V. M. Fedorov prin următoarea ecuaţie:

$$3\ C_6H_{12}O_6 = 4\ CH_3CH_2COOH + 2\ CH_3\cdot COOH + 2\ CO_2 + H_2O + x\ Cal.$$

hexoză — acid propionic — acid acetic — bioxid de carbon — apă

Din bacteriile care intervin în fermentaţia propionică mai cunoscute sînt *Bacterium acidi propionici, Propionibacterium technicum* şi *Pr. freidenreichii*. Aceste bacterii fermentează uşor acidul lactic şi unele hexoze. Produsele finale ale fermentaţiei propionice sînt: acidul propionic, acidul acetic, bioxidul de carbon şi apa.

În procesul complicat al fermentaţiei propionice prin fosforilarea hexozelor se formează difosfat de hexoză care prin înjumătăţire dă naştere la două fosfotrioze şi din acestea se formează acid lactic. Propionibacteriile fermentează acidul lactic format şi îl transformă în acid propionic şi acid acetic, după V. M. Fedorov (1949), în modul următor:

$$\begin{array}{l} CH_3 \\ | \\ CHOH \\ | \\ COOH \end{array} \longrightarrow \begin{array}{l} CH_3 \\ | \\ C{=}O + 2\ H \\ | \\ COOH \end{array}$$

acid lactic — acid piruvic (forma cetonică)

$$\begin{array}{l} CH_3 \\ | \\ C{=}O + H_2O \\ | \\ COOH \end{array} \longrightarrow \begin{array}{l} CH_3 \\ | \\ C\ (OH)_2 \\ | \\ COOH \end{array}$$

acid piruvic — hidratul acidului piruvic

$$\begin{array}{l} CH_2 \\ | \\ C\ (OH)_2 \\ | \\ COOH \end{array} \longrightarrow \begin{array}{l} CH_3 \\ | \\ COOH \end{array} + CO_2 + 2H$$

hidratul acidului piruvic — acid acetic

$$2\ \begin{array}{l} CH_3 \\ | \\ CHOH + 4\ H \\ | \\ COOH \end{array} \longrightarrow = 2\ \begin{array}{l} CH_3 \\ | \\ CH_2 + 2\ H_2O \\ | \\ COOH \end{array}$$

acid lactic — acid propionic

Între produsele finale ale fermentației propionice se găsește și acidul succinic și acest lucru ne explică de ce proporția acidului propionic și acidului acetic în realitate este 1,5 : 1 și nu 2 : 1 cum ne arată ecuația de reacție.

Fermentația propionică joacă un rol important pe lîngă cea lactică în prepararea caşcavalurilor.

În cursul preparării caşcavalurilor în urma procesului de fermentație lactică lactoza din laptele preparat se transformă în acid lactic. Sărurile acidului lactic sub influența bacteriilor propionici se transformă în acid propionic și acetic, dînd preparatului gustul iute, caracteristic.

Fermentația butirică

Natura biochimică a fermentației butirice a fost stabilită pentru prima dată de L. Pasteur. Fermentația butirică este un proces microbiologic de descompunere a zaharurilor în urma căruia se formează acid bitiric:

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow CH_3CH_2CH_2COOH + 2\,CO_2 + 2\,H_2 + 18\ Cal.$$

Transformarea zahărului în acid butiric este provocată de bacteriile butirice foarte răspîndite în sol, în îngrășămintele naturale, în lapte și în caşcavaluri. Cele mai cunoscute bacterii butirice sînt: *Clostridium pasteurianum, Granulobacter butyricum* și *Gr. pectinovorum.*

Fermentația butirică este și ea un proces compus dintr-un lanț de reacții intermediare care după teoria lui A. Kluyver poate fi reprezentat în mod schematic în felul următor:

1. În prima fază din glucoză se formează hidrat de metilglioxal, aldehidă acetică și acid formic:

$$\underset{\text{hexoză}}{C_6H_{12}O_6} \longrightarrow 2\,\underset{\text{hidrat de metilglioxal}}{CH_3COCH(OH)_2} \longrightarrow \underset{\text{aldehidă acetică}}{CH_3CHO} + \underset{\text{acid formic}}{HCOOH}$$

2. Acidul formic se descompune mai departe:

$$HCOOH \longrightarrow H_2 + CO_2$$

3. O parte din aldehida acetică cu o moleculă de apă se transformă în acid acetic:

$$\underset{\text{aldehidă acetică}}{CH_3CHO} + H_2O \longrightarrow CH_3CH(OH)_2 \longrightarrow H_2 + \underset{\text{acid acetic}}{CH_3COOH}$$

4. Cealaltă parte a aldehidei acetice prin condensare aldolică trece în aldol:

$$\underset{\text{aldehidă acetică}}{CH_3CHO \leftarrow H\,CH_2CHO} \longrightarrow \underset{\substack{\text{aldol}\\(\beta\text{-oxi-butiraldehidă})}}{CH_3CHOHCH_2CHO}$$

5. În ultima fază prin gruparea intramoleculară a atomilor de oxigen aldolul se transformă în acid butiric.

$$\underset{\text{aldol}}{CH_3CHOHCH_2CHO} \longrightarrow \underset{\text{acid butiric}}{CH_3CH_2CH_2COOH}$$

Scanned with OKEN Scanner

O parte a acidului butiric astfel format, combinîndu-se cu hidrogenul eliberat din acidul formic în faza a doua a lanțului de reacție, se transformă în alcool butilic. În procesul fermentației butirice se mai formează în cantitate mai mică și alcool etilic, acetonă, și alcool izopropilic.

Fermentația butirică se realizează în natură la descompunerea anaerobă a celulozei.

Fermentația acetică

În procesul fermentației acetice zaharurile sau alcoolul etilic pe cale anaerobă sau parțial aerobă se transformă în acid acetic. Mersul reacțiunii se poate reprezenta prin următoarele ecuații chimice:

1. Fermentația acetică oxidativă (parțial aerobă)

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow CH_3CH_2OH + O_2 \longrightarrow CH_3COOH + H_2O + 117 \text{ Cal.}$$

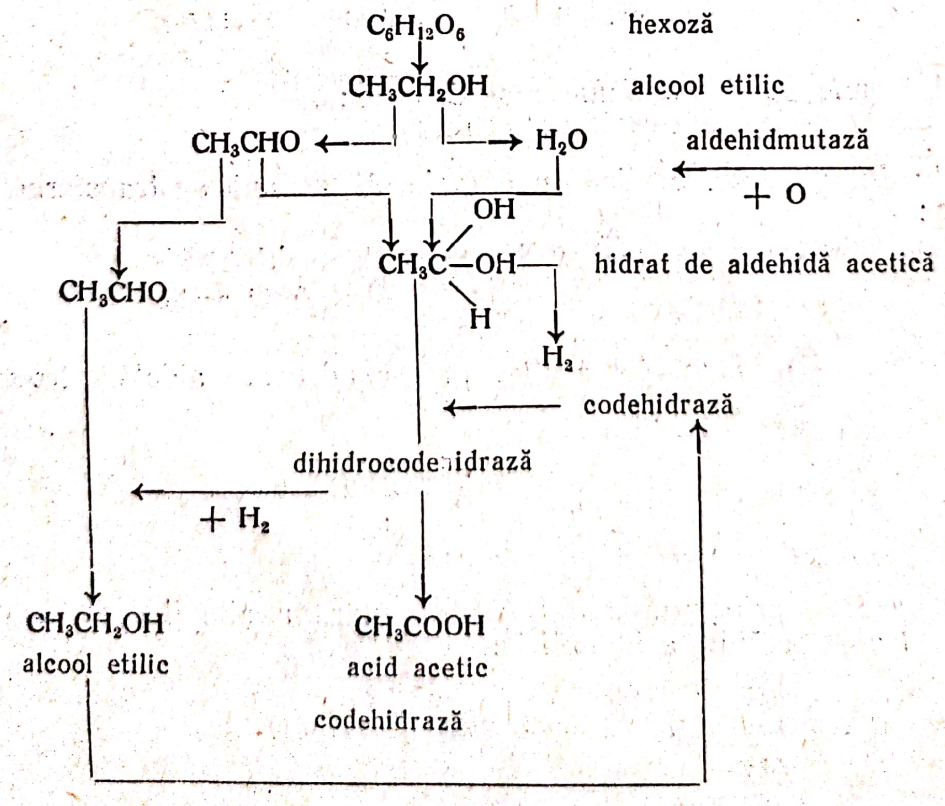
2. Fermentația acetică anaerobă:

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 3\ CH_3COOH + 15 \text{ Cal.}$$

Fermentația acetică este provocată de diferite specii de bacterii, dintre care cele mai răspîndite sînt *Acetobacter ascendens, A.Suboxydans, A.pasteurianum* și *A.xylinum.*

Fermentația acetică aerobă decurge în două procese parțiale mai mari, dintre care în primul proces se petrece fermentația alcoolică anaerobă, a cărei produs principal final este alcoolul etilic și care în procesul următor pe cale aerobă se transformă în acid acetic.

Schema fermentației acetice oxidative este următoarea:



În cursul acestui proces, prin urmare, în prima fază de oxidare aerobă a alcoolului se formează aldehidă acetică care funcționînd ca donator de hidrogen sub acțiunea catalitică a codehidrazei cedează doi atomi de hidrogen și se transformă în acid acetic. În acelaș timp codehidraza se transformă în dihidrocodehidrază care hidrogenează restul de aldehidă acetică transformînd-o în alcool etilic. Alcoolul etilic astfel format se transformă și el în acid acetic.

Fermentația acetică aerobă joacă un rol important în industria oțetului. În natură acest proces este mai rar și în acest caz se formează diferite produse secundare după felul bacteriilor care îl provoacă.

Fermentația acetică anaerobă poate fi provocată de *Escherichia coli*, prin descompunerea dextrozelor conform ecuației de mai jos:

$$2\ C_6H_{12}O_6 + H_2O = CH_3COOH + 2\ CH_3CHOHCOOH + CH_3CH_2OH + 2\ CO_2 + 2\ H_2$$

dextroză — apă — acid acetic — acid lactic — alcool etilic — bioxid de carbon

În natură au mai fost observate și alte procese fermentative legate de descompunerea microbiană a hidraților de carbon.

LEGĂTURA GENETICĂ DINTRE RESPIRAȚIE ȘI FERMENTAȚIE

Pflűger (1875) a observat că broasca pusă într-o atmosferă lipsită de oxigen mai trăiește pînă la un anumit timp și expiră bioxid de carbon ca rezultat al descompunerilor hidraților de carbon. Acest fenomen l-a numit Pflűger respirație intramoleculară. Pflűger a presupus că respirația intramoleculară este prima fază a respirației normale ce se petrece în prezența oxigenului și ea constă în descompunerea fără intervenția oxigenului a materialului respirator și în urma căreia rezultă alcool etilic.

În faza a doua a respirației, după Pflűger, alcoolul format în prima fază este oxidat de oxigenul molecular atmosferic și descompunîndu-se se formează bioxid de carbon și apă.

Teoria lui Pflűger a fost aplicată de W. Pfeffer pentru explicarea respirației plantelor superioare. Pfeffer a fost de părere că, respirația aerobă esete strîns legată de fermentație și între produsele intermediare de respirație figurează și alcoolul. Presupunerea lui Pfeffer a fost bazată pe observația că mucegaiurile la aer respiră normal, iar în lipsa oxigenului, în interiorul soluțiilor zaharate, provoacă formarea alcoolului.

S. P. Kostîcev a arătat că, alcoolul în corpul plantelor se oxidează mai încet și mai greu de cît zaharurile și prin aceasta a combătut concepția după care respirația aerobă ar fi continuarea directă a respirației anaerobe și substratul biochimic al respirației ar fi alcoolul care s-a format în faza anaerobă a respirației. Kostîcev a stabilit între fenomenele de respirație și fermentație o legătură genetică și a exprimat-o în schema de mai jos:

$C_6H_{12}O_6$ hexoză

produse intermediare de fermentație

fermentație ↓ → $2\ CO_2 + 2\ CH_3CH_2OH$

respirație ↓ → $6\ CO_2 + 6\ H_2O$

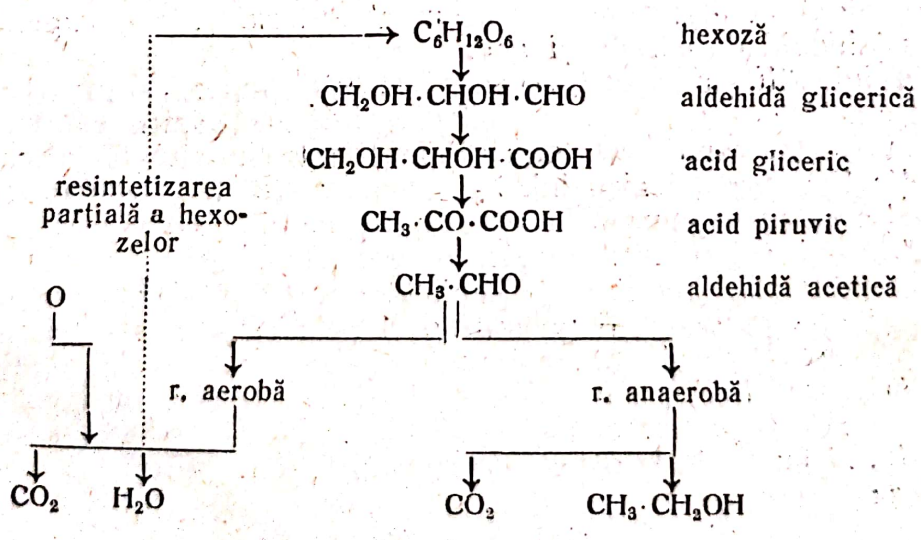
De fapt între procesul fermentației și respirației putem stabili mai multe trăsături comune. Așa de exemplu fermentația alcoolică în esență este identică cu respirația anaerobă; în ambele cazuri glucoza se oxidează în alcool și bioxid de carbon. Tot așa astăzi știm că faza incipientă de transformare a zaharurilor, adică descompunerea anaerobă a moleculelor substratului respirator este identică în procesul respirației și în procesul fermentației. În cursul dezvoltării filogenetice aceste două procese au origine comună. Primul care s-a format și s-a dezvoltat a fost fermentația și pe urmă s-a dezvoltat respirația, adică fermentația este faza pregătitoare a respirației.

Originea comună a acestor două procese ne dovedește și faptul că în lanțul de reacții intermediare care se succed unele pe altele, de multe ori se formează atît în respirație cît și în fermentație ca produse intermediare identice.

În procesul fermentației, respirației anaerobe și aerobe sînt trei faze comune.

Prima fază a respirației constă în activarea așa numitelor hexoze inactive, în care fenomen iau parte acidul fosforic și enzime fosfataze. În urma acestor procese se formează hexoze fosforilate.

În a doua fază comună are loc, sub acțiunea enzimelor dezmolaze glicoliza hexozelor fosforilate active. În faza a treia descompunerea merge mai departe, și anume în mediul lipsit de oxigen se formează alcool și bioxid de carbon, iar în prezența oxigenului și sub acțiunea oxidazelor se formează bioxid de carbon și apă, respectiv în urma anabolizmului oxidativ din aceste produse finale din urmă se formează hidrați de carbon. Sinteza hidraților de carbon care se face cu ocazia respirației aerobe, se numește reacția lui Pasteur și Mayerhoff. Reacția lui Pasteur și Mayerhoff ne explică faptul stabilit în mod experimental că în respirația aerobă se consumă mai puțin zahăr de cît în respirația anaerobă. Legăturile genetice ce există între respirația aerobă și anaerobă sînt redate în schema de mai jos:



Teoria legăturilor genetice dintre fermentație și respirație se mai poate sprijini și pe următoarele observațiuni experimentale:

1. Produsele acumulate în corpul plantelor în urma condițiilor anaerobe, în prezența oxigenului se transformă mai departe.

Scanned with OKEN Scanner

2. Intensitatea respirației embrionului de grîu în soluțiile zaharate supuse acțiunii fermentative a drojdiei de bere, devine de 4—6 ori mai mare.

3. Enzimele care catalizează descompunerea anaerobă a zaharurilor sînt în general răspîndite în plante, și astfel plantele în general pot elimina bioxid de carbon și într-un mediu lipsit de oxigen.

4. Extractele obținute din țesuturile plantelor, în general prezintă o acțiune fermentativă și de aceea se presupune că în celulele plantelor superioare este posibilă realizarea și a acelui proces respirator care a activat enzimele fermentative.

5. În țesuturile plantelor superioare au fost puse în evidență și produsele care rezultă din descompunerea anaerobă a zaharurilor (esterii fosforici ai hexozelor, esteri ai aldehidei glicerice, acid glicerofosforic etc.).

MECANISMUL OXIDĂRILOR CELULARE

Sediul proceselor de desasimilație este protoplasma celulelor plantelor și de aceea respirația se mai numește și respirație celulară. Pe baza determinărilor cantitate pentru explicarea procesului global al respirației s-a propus următoarea ecuație chimică:

$$1 \text{ mol } C_6H_{12}O_6 + 6 \text{ mol } O_2 = 6 \text{ mol } CO_2 + 6 \text{ mol } H_2O + 674000 \text{ cal}$$
$$180 \text{ g} \qquad 192 \text{ g} = 264 \text{ g} + 108 \text{ g}$$

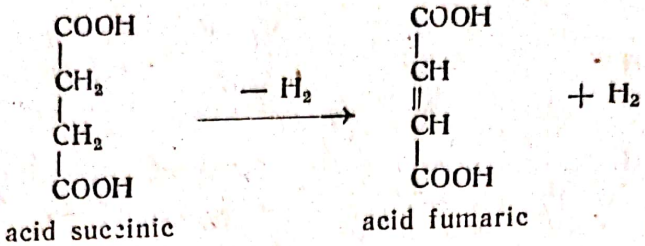
Conform ecuației de mai sus în urma oxidărilor celulare în celulele organismelor vegetale cu ajutorul oxigenului luat din atmosferă, se face descompunerea aerobă a zaharurilor. Experiențele au arătat însă că în cursul respirației moleculele de zahăr nu sînt direct oxidate de către oxigenul atmosferic. Bioxidul de carbon degajat în cursul respirației prin urmare nu este produsul direct al oxidării zahărului, ci este rezultatul dehidrogenărilor succesive ale acestui substrat organic. In urma dehidrogenărilor și hidrogenărilor succesive, molecula de zahăr devine din ce în ce mai săracă în hidrogen și din ce în ce mai bogată în oxigen pînă cînd la urmă rămîne bioxidul de carbon ca un produs final al respirației. Oxigenul bioxidului de carbon degajat în respirație nu rezultă din oxigenul molecular atmosferic absorbit în cursul respirației.

Respirația celulară din punct de vedere chimic este lanțul complicat al proceselor parțiale de oxido-reducere care sînt dirijate de sisteme enzimatice diferite. Sub noțiunea de oxidări celulare înțelegem diferite procese de oxidare care se realizează prin trei grupe de reacții, și anume prin fixare de oxigen, prin pierdere de hidrogen și prin creștere de valență.

Oxidarea prin fixare de oxigen, ce se numește oxigenare, se petrece după exemplele de mai jos:

1. $C + O \longrightarrow CO \xrightarrow{+O} CO_2$
2. $Cu + O \longrightarrow CuO$
3. $CH_3-CH_3 + O \longrightarrow CH_3-CH_2OH$
   etan — alcool etilic
4. $H_2 + 1/2\ O_2 \longrightarrow H_2O$

Oxidarea prin pierdere de hidrogen se numește dehidrogenare și se face după exemplele următoare:

1. 

acid succinic — acid fumaric

2. $HO-C_6H_4-OH \xrightarrow{-H_2} O=C_6H_4=O+H_2$

hidrochinonă — chinonă

Oxidările prin creștere de valență se fac prin pierdere le electroni. Așa se petrece în respirație de exemplu transformarea compușilor feroase în compuși ferici după schema de mai jos:

$$Fe^{++} \xrightarrow{-e} Fe^{+++} \quad \text{sau}$$

$$Fe \xrightarrow{-2e} Fe^{++} \xrightarrow{-e} Fe^{+++}$$

Procesele de reducere se realizează prin reacțiile inverse oxidărilor, și anume:
prin fixare de hidrogen sau hidrogenare, ca în ecuația de mai jos:

$$RO \longrightarrow R+O$$

prin fixarea de hidrogen sau hidrogenare, ca în ecuația de mai jos:

$$R-C\begin{matrix}O\\H\end{matrix} \xrightarrow{+2H} R-CH_2OH \quad \text{și}$$

prin scădere de valență, respectiv prin fixare de electron ca de exemplu:

$$Fe^{+++} \xrightarrow{+e} Fe^{++}$$

Totalitatea reacțiunilor de oxidare și de reducere arătate mai sus se numește oxido-reducere, iar intensitatea lor exprimată printr-un potențial electric se numește potențial de oxido-reducere.

Procesele de dehidrogenare și de hidrogenare, în urma cărora se formează bioxidul de carbon eliminat prin respirație, nu sînt procese exotermice, ci la realizarea lor se întrebuințează energie. Aceste procese prin urmare nu pot servi ca sursă de energie pentru celulă.

Energia eliberată în cursul biooxidărilor celulare este în legătură cu formarea celuilalt produs final al respirațiunii și anume cu formarea apei. Se cunoaște din chimie că reacția de mai jos este un proces exotermic:

$$2H + 1/2\ O_2 = H_2O + 68\ Cal$$

Adică energia care se formează în cadrul respirației celulare se eliberează cu ocazia unirii hidrogenului substratului respirator cu oxigenul molecular atmosferic, într-o moleculă de apă.

În organismele vegetale reacțiile de oxido-reducere se realizează în mod treptat, în faze și aceasta face posibilă eliberarea treptată a energiei și utilizarea ei tot treptat.

Substratul oxidărilor celulare (monozaharidele, acizi organici și aminoacizi) este format din substanțe stabile care în vitro se oxidează cu oxigenul molecular numai la presiune și temperatură așa de mare care nu mai face posibilă fenomenele vitale ale protoplasmei. În organismul vegetal viu însă, sub acțiunea biocatalitică a enzimelor, oxidările substanțelor organice la temperatura organismului și în condițiuni normale de presiune se realizează foarte repede. Sub acțiunea enzimelor nivelul energetic critic al reacțiilor de biooxidare devine potrivit pentru activarea hidrogenului și oxigenului și astfel se poate face, conform ecuației mai sus arătate, oxidarea hidrogenului în apă și cu producere de energie. Activarea oxigenului și hidrogenului precum și succesiunea reacțiilor din procesul respirației au fost explicate prin variate ipoteze și teorii.

Explicația activării oxigenului

Am văzut că în protoplasma celulei vegetale în cursul respirației oxidarea substanțelor organice este complicată și se face în mod indirect. Oxigenul molecular al aerului (O_2) nu este un oxidant activ, pentru a-și putea manifesta acțiunea oxidantă trebuie activat mai întîi, adică din molecula O=O trebuie să formeze molecula —O—O— sau doi atomi liberi de oxigen (2—O—).

În interpretarea justă a oxidărilor celulare a fost importantă concepția lui M. Traube, conform căreia oxigenul molecular în prezența apei și sub acțiunea anumitor substanțe (de ex. un metal bivalent) devine activ și formează apă oxigenată conform reacțiunii de mai jos:

$$Metal^{++} + O_2 + 2\,H_2O \longrightarrow Metal\,(OH)_2 + H_2O_2$$

Apa oxigenată astfel formată sub acțiune catalitică se poate descompune, formînd apă și oxigen activ:

$$H_2O_2 \longrightarrow H_2O + O$$

Pornind de la observațiile făcute de M. Traube, A. N. Bach, A. Engler și R. Chodat au stabilit că, activarea oxigenului în procesele biologice aerobe, se face prin oxidarea substanțelor ușor oxidabile, numite autooxidabile, care se transformă în peroxizi.

După teoria lui A. N. Bach oxigenul molecular devine activ în cazul cînd o oarecare energie rupe legăturile duble dintre atomii săi. Aceasta poate fi energie termică sau electrică. În cazul cînd oxidarea se realizează fără intervenția unor astfel de energii avem de a face cu o oxidare spontană și în acest caz energia necesară pentru activarea oxigenului este furnizată de substanța oxidată însăși numită autooxidabilă. Bach a mai stabilit că numai substanțele nesăturate care înmagazinează o anumită cantitate de energie, pot fi oxidate. Aceste substanțe

M. C. fața

Scanned with OKEN Scanner

venind în contact cu moleculele de oxigen, desfac legăturile dintre atomii de oxigen conform schemei de mai jos:

O=O — oxigen molecular —O—O— — oxigen activ

Oxigenul activ format se unește sub formă de peroxid cu substanța autooxidabilă.

$$2\,R + O_2 \longrightarrow \begin{matrix} R{-}O \\ | \\ R{-}O \end{matrix} \quad \text{sau} \quad R + O_2 \longrightarrow R\begin{matrix} O \\ | \\ O \end{matrix}$$

Peroxidul astfel format poate oxida și alte particule din substanța autooxidabilă:

$$R\begin{matrix} O \\ | \\ O \end{matrix} + R' \longrightarrow \begin{matrix} R{-}O \\ | \\ R'{-}O \end{matrix}$$

sau oxigenul se desprinde sub formă de atom din peroxizi și poate oxida alte substanțe care nu pot fi oxidate direct de oxigenul molecular atmosferic. Aceste substanțe oxidate în mod secundar se numesc acceptori de oxigen.

Ceretările lui Bach și Chodat au arătat că în oxidările celulare astfel de substanțe autooxidabile sînt anumite enzime și anume oxidazele și peroxidazele.

Oxidazele și peroxidazele

Oxidazele catalizează acele procese de oxidare din celulă în care acceptorul de hidrogen este însăși oxigenul molecular. Oxidazele activează oxigenul molecular care după ce devine activ se poate uni cu hidrogenul activat de către dehidraze și formează apă. Din punct de vedere chimic oxidazele sînt combinațiuni heteroproteice, în a căror grupă prostetică se găsește cupru (în cazul fenoloxidazelor) sau fer (în cazul citocromoxidazei).

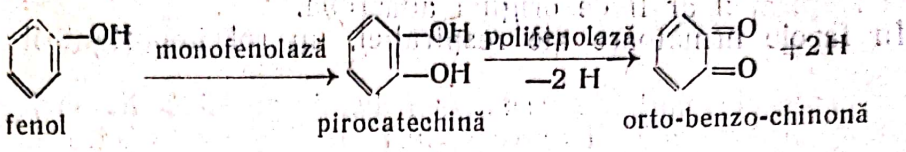
Oxidazele sînt răspîndite în cantități relativ mari în celule vegetale în general. Din oxidaze fac parte fenoloxidazele sau fenolazele, care oxidează alcoolii aromatici sau fenolii din corpul plantelor transformîndu-i în combinațiuni chinonice.

Fenolazele sînt cuproproteine asemănătoare hemocianinelor în care cuprul se leagă direct de proteină. Acțiunea oxidativă a fenolazelor este în legătură cu transportul electronilor pe oxigenul molecular de pe substrat prin intermediul cuprului pe care îl conține. Rolul ionilor de cupru în transportul electronilor este reprezentat prin reacția de mai jos:

$$Cu^{++} \underset{\longleftarrow}{\overset{\longrightarrow}{-e}} Cu^{+} \xrightarrow{-e} Cu$$

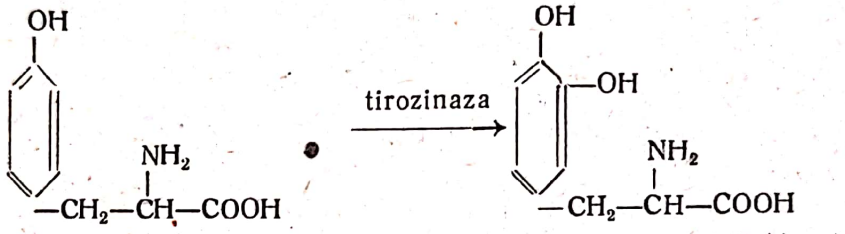
Fenoloxidazele după natura substratului pe care îl oxidează pot fi monofenoloxidaze și polifenoloxidaze.

Monofenoloxidazele transformă monofenolii și derivații lor (crezol și tirozină) prin oxidare în chinone:



fenol — pirocatechină — orto-benzo-chinonă

Reprezentatul tipic al monofenolazelor este tirozinaza, foarte răspîndită în ciuperci, fructe și tuberculi. Secționînd în jumătate un tubercul de cartof, sau un măr, observăm că suprafața secționată la început devine brună, iar mai tîrziu se înnegrește complet. Acest fenomen de schimbare a culorilor este în legătură cu procesul de oxidare și se explică prin aceea că tirozina care se găsește în celule sub acțiunea tirozinazei în prezența oxigenului atmosferic se oxidează în dioxi-fenil-alanină;



tirozina — 3,4-dioxi-fenil-alanină (dopa)

Dioxi-fenil-alanina este un pigment roșu care oxidîndu-se mai departe sub acțiunea catalitică a monofenoloxidazei (dopa-oxidază) se transformă în melanină care este un pigment negru.

Polifenolazele sau polifenoloxidazele oxidează polifenoli din celulele plantelor. Ele sînt răspîndite în foarte multe plante și pot fi puse în evidență cu ajutorul unei soluții alcoolice de rășină de guaiac. Soluția alcoolică de rășină de guaiac sub acțiunea polifenolazelor din plante se oxidează în tetraguaiaco-chinonă de culoare verde-albăstruie.

Prezența fenolazelor ne explică înnegrirea frunzelor uscate de ceai și plante de herbar.

A. N. Bach și mai tîrziu V. I. Palladin pe baza cercetărilor făcute asupra enzimelor oxidante au ajuns la concluzia că în ultimele faze ale oxidărilor celulare polifenolii au un rol important, și anume, sub acțiunea polifenoloxidazelor și cu ajutorul oxigenului atmosferic se oxidează în mod reversibil formînd chinone.

După teoria lui Palladin chinonele din celulele plantelor funcționează ca pigmenți respiratori, adică ele se combină cu hidrogenul moleculelor de apă și sub acțiunea lor oxigenul moleculelor de apă oxidează produsele de descompunere ale substratului respirator, cu formarea bioxidului de carbon. Dacă notăm cu R chinonele atunci teoria lui Palladin poate fi exprimată prin următoarea ecuație de reacție:

$$1.\quad C_6H_{12}O_6 + 6\,H_2O + 12\,R \rightleftharpoons 6\,CO_2 + 12\,RH_2$$

Pigmenții respiratori în protoplasma celulelor se găsesc sub formă de cromogene incolore, de aceea în mod direct nu se pot observa și se colorează numai după moartea celulelor după care sistemul proceselor de oxido-reducere este deranjat.

În această fază incipientă a respirației oxigenul atmosferic nu are rol și prin urmare după Palladin bioxidul de carbon care se degajă cu ocazia respirației ar fi de origină anaerobă.

În fazele următoare ale respirației, un rol important îl au peroxidazele.

Peroxidazele sînt de asemenea hemin-proteide în molecula căreia se găsește fier metalic și patru cicluri pirolice legate între ele prin patru grupe metenice, cum ne arată formula de mai jos:

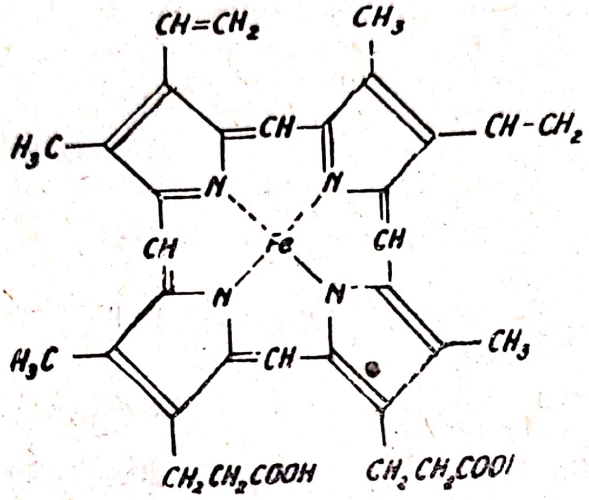


Fig. 172. Ciclurile pirolice ale peroxidazei.

Peroxidazele se găsesc răspîndite în general la plante, însă în cantitate mai mică. În cantitate mai mare ele se găsesc în rădăcina de hrean.

În prezența apei oxigenate și a altor peroxizi organici peroxidazele catalizează oxidarea fenolilor și a aminelor aromatice. În esență peroxidazele pot oxida aceleași substanțe pe care le oxidează și fenolazele, însă ele funcționează numai în prezența peroxizilor.

Prezența lor se poate pune în evidență ca și a polifenolazelor cu ajutorul unei soluții alcoolice de rășină de guaiac, însă cu deosebirea că pe suprafețele secționate a plantelor se mai adaogă și apă oxigenată. În acest caz se obține chinonă de tetraguaiac de culoare verde albăstruie.

Activitatea peroxidazelor variază după vîrsta plantelor și a organelor.

A. N. Bach, A. I. Oparin și P. A. Vener au stabilit că activitatea peroxidazelor în țesuturile orzului încolțit în primele 2-3 săptămîni, crește. În perioadele de după germinare însă ea scade în mod considerabil.

Rezultate asemănătoare au fost obținute și de N. M. Sisakian și colaboratorii săi care au stabilit că în frunzele de măr activitatea peroxidazelor scade paralel cu vîrsta frunzelor.

În faza a doua a respirației după teoria lui V. I. Palladin sub acțiunea peroxidazelor hidrogenul cromogenelor se combină cu oxigenul atmosferic formînd apă:

$$2.\quad 12\,RH_2 + 6\,O_2 \longrightarrow 12\,H_2O + 12\,R$$

Pigmentul respirator (R) dehidrogenat devine din nou acceptor de hidrogen și oxidează cu ajutorul apei alte molecule de glucoză. Adunînd ecuațiile 1 și 2 și executînd simplificarea membrilor identici obținem ecuația clasică a respirației:

$$C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2 = 6\ CO_2 + 6\ H_2O$$

Explicația activării hidrogenului

Paralel cu teoriile care explică combinarea hidrogenului din molecula substratului cu oxigenul numai prin activarea oxigenului s-au format teorii care procesele de oxidare celulară le explică numai prin activarea hidrogenului din molecula de substrat respirator.

În cursul experiențelor sale H. Wieland făcînd oxidarea diferitelor substanțe cu ajutorul paladiului sau a platinei spongioase, a observat că acest burete s-a umplut de hidrogen. Cu această metodă el a putut oxida în lipsa oxigenului glucoza cu formare de bioxid de carbon. El a mai putut observa că atunci, cînd oxidarea glucozei s-a făcut în prezența oxigenului atmosferic, buretele de platină nu mai conținea hidrogen. Din aceste rezultate Wieland a ajuns la concluzia că, esența oxidărilor celulare este un proces de pierdere de hidrogen, sau o dehidrogenare, ce se poate exprima prin ecuația următoare:

$$DH_2 + A \longrightarrow D + AH_2$$

Atomii de hidrogen ai substratului ce se oxidează sînt activați de enzime dehidraze. Dehidrazele, zise și dehidrogenaze, se combină cu atomii de hidrogen ai unui donator de hidrogen (DH_2) și îi transportă la o altă substanță care funcționează ca acceptor de hidrogen (A).

După modul lor de acțiune ele pot fi dehidraze aerobe și anaerobe.

Dehidrazele aerobe pot transporta hidrogenul direct pe molecula de oxigen, iar dehidrazele anaerobe pot transporta hidrogenul numai pe un alt acceptor. Hidrogenul astfel activat, combinîndu-se cu oxigenul molecular, formează peroxid:

$$DH_2 + A \longrightarrow D + AH_2$$
$$AH_2 + O_2 \longrightarrow A + H_2O_2$$

Peroxidul de hidrogen care se formează, sub acțiunea catalazei din celule se descompune imediat dînd oxigen și apă:

$$2\ H_2O_2 \xrightarrow{\text{catalază}} 2\ H_2O + O_2$$

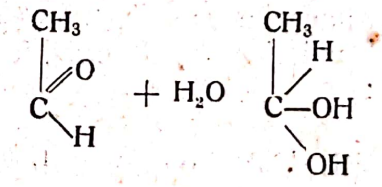
Oxigenul astfel format este legat din nou de atomii de hidrogeni activați.

Conform noilor concepții transportul atomilor activați de hidrogen la atomul de oxigen se face numai printr-un sistem de citocromi și de diacizi tetracarbonici.

Dehidrazele sînt foarte mult răspîndite în ţesuturile plantelor. In tabelul de mai jos este dată răspîndirea în diferite organisme vegetale a unor dehidraze mai importante după B. A. Rubin (1954):

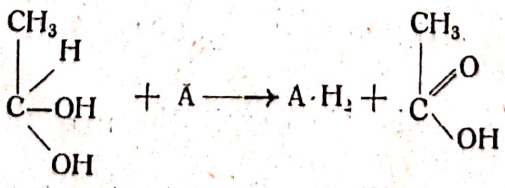
Numele enzimelor	Specia de plantă în care se găseşte enzima
glutamin-dehidrază,	coleoptil de ovăz, embrion de orz şi secară, plantulă de mazăre, fasole şi kok-sagîz (frunze şi rădăcină) şi mere
lactico-dehidrază	drojdia de bere, plantulă de soia şi de fasole, frunze de kok-sagîz, mezocarp de mere
malico-dehidrază	drojdia de bere, seminţe de leguminoase, de dovleac şi castraveţe, grăuncioare de polen, coleoptil de ovăz, frunză de spanac şi fasole şi măr.
aconitază fumarază succinodehidrază	sînt foarte răspîndite în numeroase plante din diferite grupe sistematice
alcool-dehidrază	drojdia de bere, coleoptil de ovăz, seminţe de leguminoase şi diferite ţesuturi de kok-sagîz
dehidraza fosfatului glicerinei	drojdia de bere, grăuncioare de polen, diferite seminţe şi coleoptil de ovăz
dehidrazele esterilor fosforici ale hexozelor, pentozelor şi ale acidului gluconic	drojdia de bere, frunză şi embrion de grîu, plantulă şi seminţe de leguminoase

Teoria dehidrogenării Wieland a aplicat-o şi pentru explicarea proceselor oxido-reducătoare care se realizează cu ajutorul apei. Wieland a presupus că în cursul respiraţiei substratul respirator se combină cu apă cu formare de hidrat. Astfel aldehidele se oxidează cu ajutorul apei şi formează acizi:



aldehidă acetică — hidrat de aldehidă

Doi atomi de hidrogen ai moleculei de hidrat de aldehidă se transportă la acceptorul de hidrogen şi se formează acid acetic:



Teoria activării hidrogenului complectează teoria lui Bach-Engler-Chodat asupra activării oxigenului şi ne explică procesele de oxidare

celulară, care se realizează fără participarea oxigenului atmosferic adică acele procese în care oxidarea unei molecule se realizează prin dehidrogenare în urma căreia substratul devine relativ mai bogat în oxigen.

Teoria dehidrogenării a lui Wieland ne explică acțiunea inhibitoare pe care uretanul o exercită asupra respirației. Se știe că uretanele inhibează acțiunea dehidrazelor.

Teoria dehidrogenării însă nu ne explică acțiunea inhibitoare a cianurilor asupra respirației, care împiedică activitatea unor enzime cu conținut de fier.

Procesele complicate ale oxidărilor și reducerilor celulare pot fi just interpretate numai dacă presupunem activitatea simultană a enzimelor care activează oxigenul și a enzimelor care activează hidrogenul.

Citrocomii și rolul lor în oxidările celulare

În lămurirea mecanismului intim al respirației, descoperirea citocromilor a avut o importanță foarte mare. În celulele care respiră în mod aerob D. Keilin a pus în evidență o substanță colorată a cărei cantitate variază proporțional cu intensitatea respirației. Această substanță a fost numită de Keilin citocrom. Citocromul este o combinație heteroproteică, cu gruparea prostetică fero-porfirinică, legată de o proteină specifică. Gruparea prostetică fero-porfirinică are două catene laterale, care conțin sulf, două grupări carboxilice și două grupări aminice în poziția α.

Citocromul se oxidează și se reduce foarte ușor. Citocromul redus arată benzi de absorbție caracteristice, care după oxidarea citocromului dispar. Acest fenomen se poate observa foarte bine atunci cînd, printr-o suspensie de drojdie de bere facem să treacă bule de gaz de oxigen. Benzile de absorbție apar dacă prin această suspensie facem să treacă un gaz indiferent, de exemplu azot. Acest fenomen ne arată că citocromul celulelor se oxidează și se reduce, adică fierul bivalent al citocromului se oxidează ușor și trece în fier trivalent, care pe urmă prin reducere din nou se transformă în fier bivalent, conform schemei de mai jos:

$$Fe^{++} \rightleftarrows Fe^{+++}$$

Din cercetările făcute asupra spectrului de absorbție al citocromului, Keilin a stabilit că în protoplasma celulară se găsesc mai multe feluri de citocromi dintre care cei mai cunoscuți sînt citocromul a, b și c.

Citocromul a și b sînt combinațiuni labile care au fost studiate numai pe cale spectroscopică și n-au fost izolate în stare pură. Citrocomul c este o substanță stabilă care a fost izolată și în stare pură. După H. Theorel citocromul c conține 49,18% carbon, 7,33% hidrogen, 14,4% azot, 1,18% sulf, 0,30% fier și 27,5% oxigen. Gruparea proteinică a citocromului c con-

Scanned with OKEN Scanner

ține numeroși animo-acizi. Formula de structură a citocromului c este următoarea :

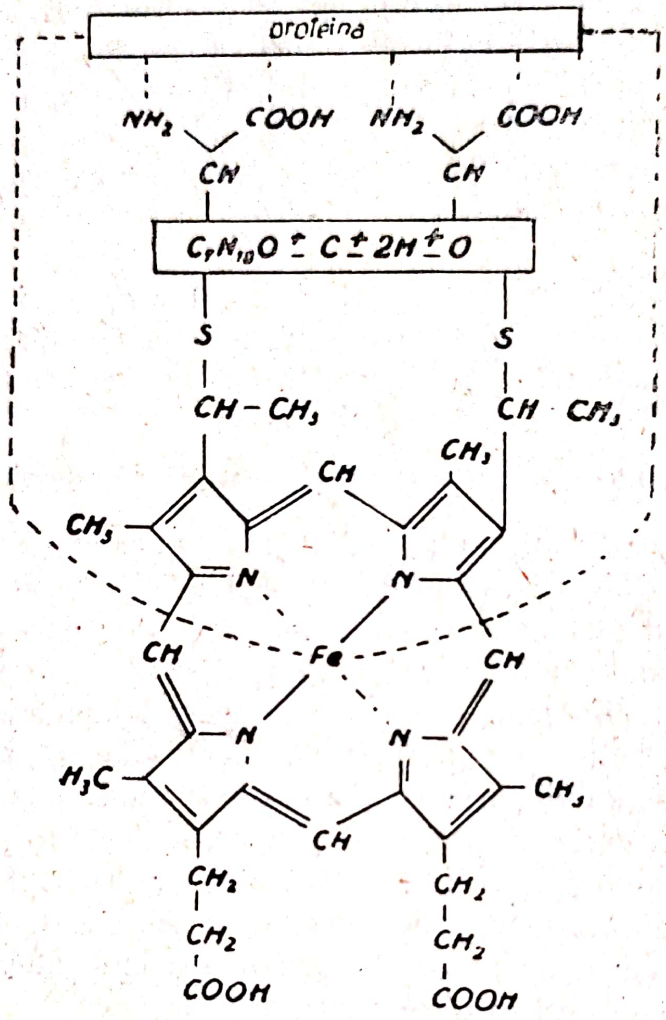


Fig. 173. Structura citocromului c.

Keilin a observat și faptul că citocromul nu este direct oxidat de oxigenul aerului. Acest fapt prin urmare arată că citocromul are un rol intermediar în procesul de activare a oxigenului și de aceea s-a presupus că citocromul este oxidat de o oxidază specială numită citocromoxidază.

O. Warburg studiind acțiunea inhibitoare a cianurilor, a monoxidului de carbon asupra procesului respirației, a observat că compușii feroporfirinici activează oxigenul, care astfel activat poate oxida fără o altă intervenție moleculele substratului de respirație. Acest compus feroporfirinic care activează oxigenul a fost numit de către Warburg ferment respirator. După culoarea pe care o are se mai numește și ferment roșu al lui Warburg. Acest ferment respirator se deosebește de hemoglobină prin aceea că el se combină cu cianurile.

Este cunoscut că numai acele hematine se combină cu cianurile care au în molecula lor un atom de fier trivalent și de aceea s-a presupus că fermentul respirator al lui Warburg, conține măcar periodic fier feric. Se cunoaște de asemenea că atomul de fier se oxidează și se reduce reversibil. Din aceste constatări s-a tras concluzia că oxigenul

ce se fixează de fermentul respirator, oxidează atomul de fier bivalent în fier trivalent. Fierul trivalent din molecula fermentului al lui Warburg este redus de o altă substanță în fier bivalent și astfel este posibilă oxidarea lui din nou.

După unii autori citocromoxidaza lui Keilin este identică cu fermentul respirator al lui Warburg.

Fermentul respirator al lui Warburg din celule vii ale plantelor este foarte răspîndit și este legat de elementele submicroscopice ale mezoplazmei. Fermentul respirator este de asemenea o heteroproteidă care conține o grupare prostetică feroporfirinică și legată de o proteină specifică.

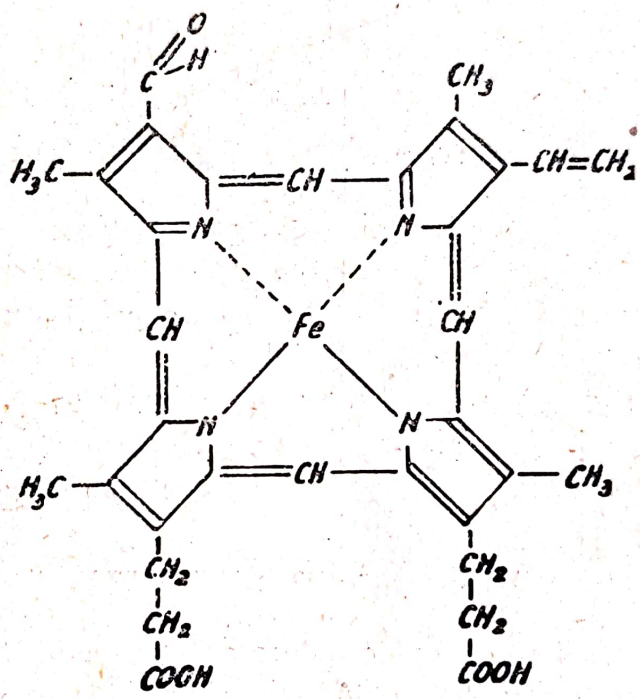
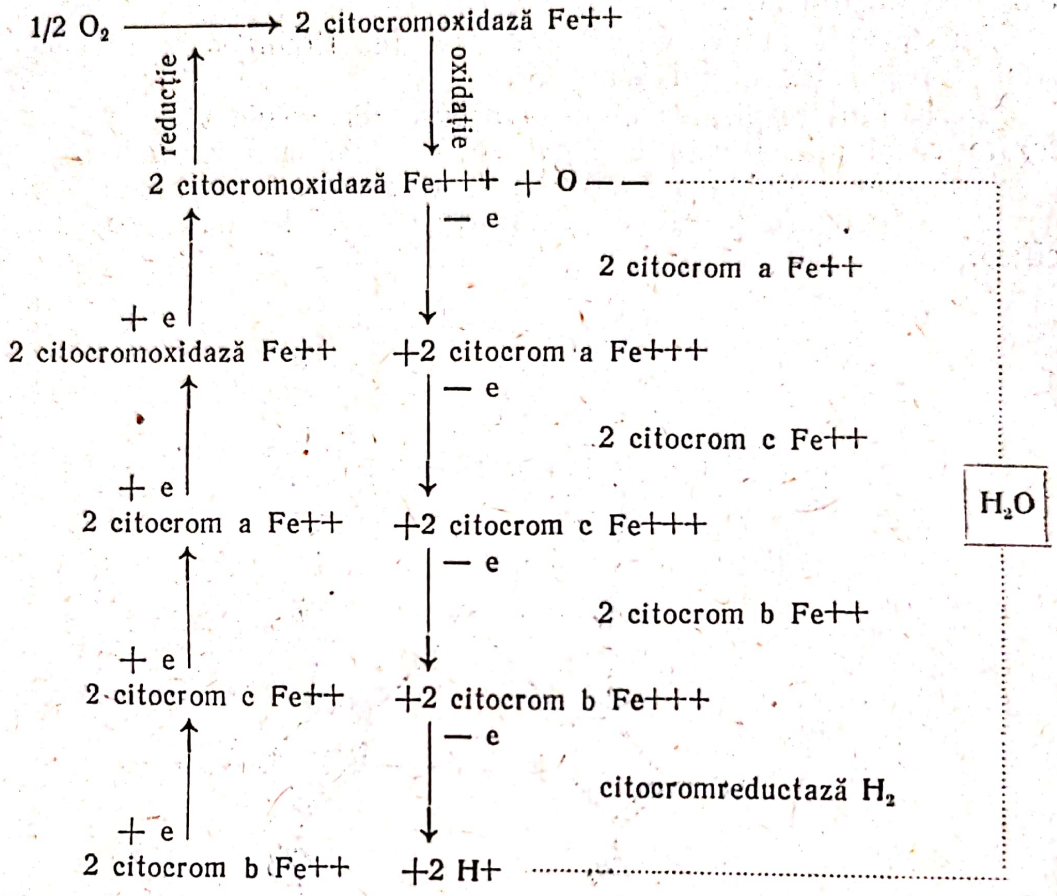


Fig. 174. Gruparea feroporfirinică a fermentului respirator al lui Warburg.

Atomul de fier din molecula fermentului respirator poate fi trivalent (forma oxidată) sau bivalent (forma redusă). Fermentul respirator este sensibil față de anumite substanțe, cum sînt cianurile și monoxidul de carbon, care inhibează acțiunea lui. Fermentul respirator al lui Warburg este activatorul oxigenului în procesul respirației.

După teoria lui Warburg activarea oxigenului se explică în modul următor: oxigenul molecular al aerului este activat de fermentul respirator al lui Warburg sau citocromoxidaza, care cedează un electron oxigenului molecular, iar fierul lui bivalent trece în fier trivalent. Oxigenul molecular astfel se transformă în ion de oxigen. Citocromoxidaza oxidată primește un electron de la citocromul a, care se oxidează, iar citrocromoxidaza se reduce și poate activa o nouă moleculă de oxigen. Citocromul a primește un electron de la citocromul c și se reduce. Citocromul c oxidat reducîndu-se și el oxidează citocromul b. Citocromul b este redus de citocromreductaza, care în această reacție cedează electroni

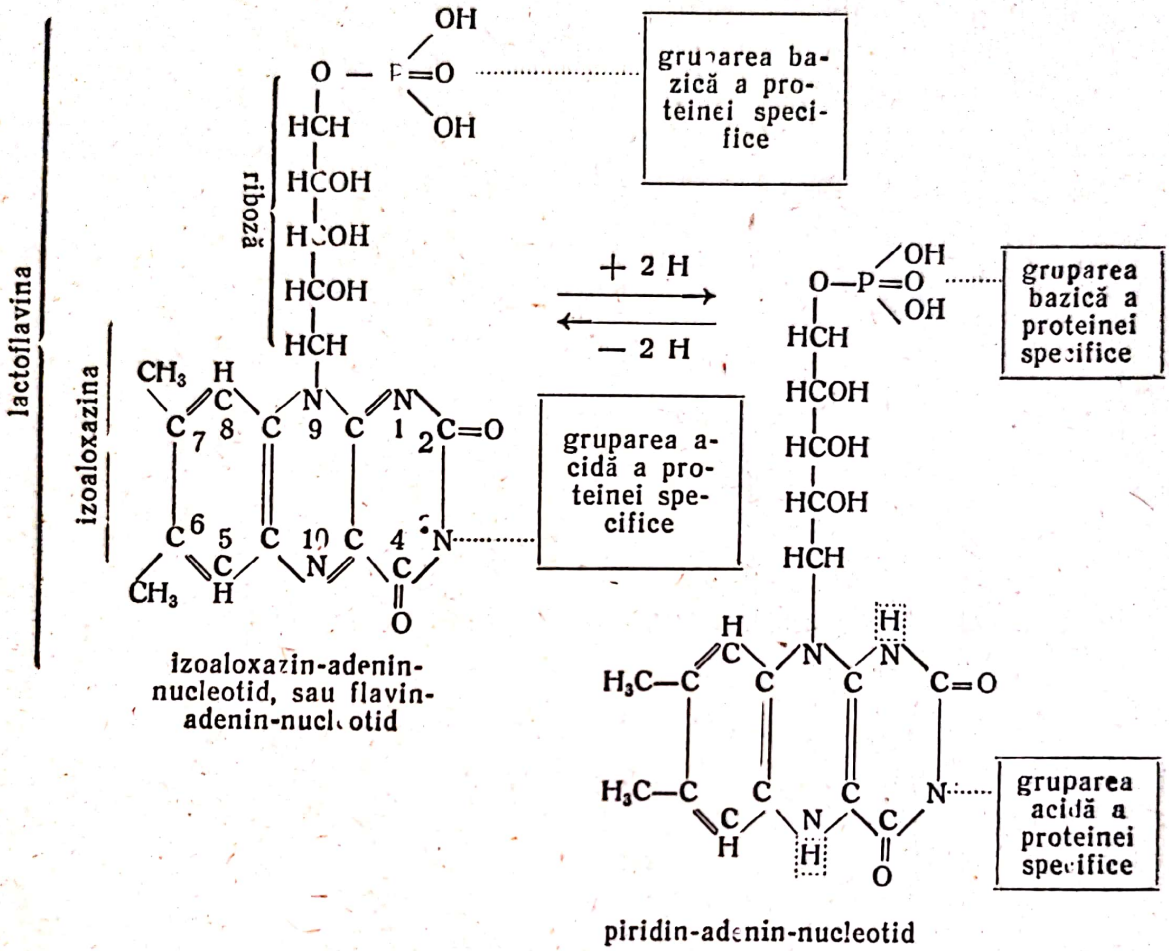
şi astfel atomii săi de hidrogen se transformă în ioni de hidrogen. Procesul activării oxigenului prin sistemul citocromilor îl putem reprezenta prin schema următoare:



În lanţul proceselor de oxido-reducere hidrogenul trecînd prin mai multe substanţe se transformă în hidrogen ionic în timp ce oxigenul nu este transportat de citocrom. În esenţă oxidaţia treptată pornită din fermentul respirator este deplasarea electronilor începînd de la dehidrogenazele care reduc citocromul b. Reacţia de reducere a citocromului b este catalizată de nişte flavinenzime şi anume fermentul galben al lui Warburg şi de citocromreductaza.

Fermentul galben al lui Warburg este o cromoproteidă compusă dintr-o apoenzimă proteinică şi dintr-o grupă activă. Gruparea proteinică este nedializabilă, termolabilă, incoloră şi de structură necunoscută, de ea se leagă o grupare prostetică activă înrudită cu vitamina B_2. Gruparea prostetică este dializabilă, termostabilă şi colorată în galben, de unde şi denumirea de ferment galben. Din punct de vedere chimic, gruparea lui activă este un ester fosforic al lactoflavinei. Lactoflavina sau riboflavina este vitamina B_2 cu formula brută $C_{17}H_{21}O_9N_4P$, format din izoaloxazină, d-riboză şi acid fosforic. Funcţia de transportor de hidrogen aparţine grupării izoaloxazinice, în care dublele legături conjugate de la N(1) şi N(10) se desfac şi astfel la aceşti doi atomi de azot se

adiționează în mod reversibil cîte un hidrogen, conform schemei de mai jos:



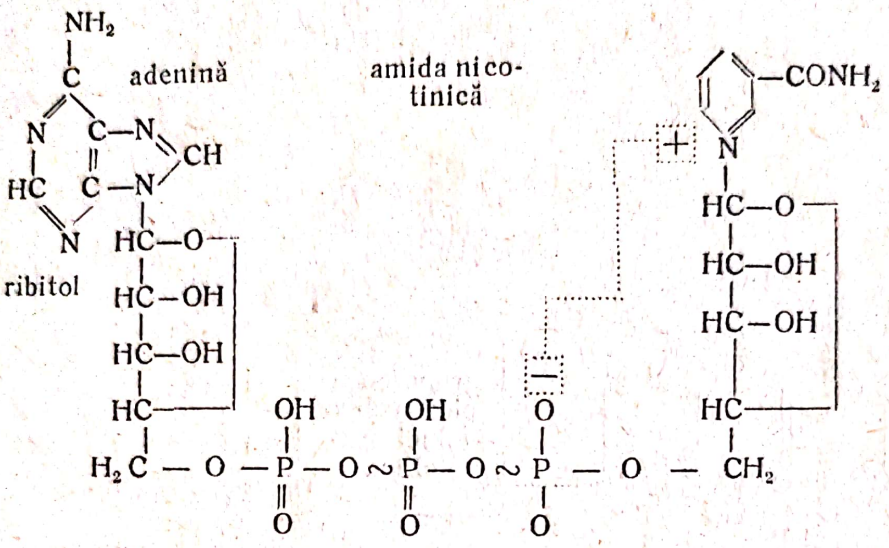
Mersul hidrogenării reversibile a fermentului galben al lui Warburg,

Fermentul galben al lui Warburg este răspîndit în drojdia de bere, în frunzele verzi și în diferite semințe. În celula aerobiontelor fermentul galben al lui Warburg funcționează în prezența fermentului respirator al lui Warburg, în protoplasma microorganismelor anaerobe, el funcționează singur. Activitatea fermentului galben al lui Warburg nu e inhibată de acidul cianhidric și monoxidul de carbon.

Citocromul b este redus de hidrogenul, care sub acțiunea coenzimei dehidrazelor se desface din substratul, acidul fosfogliceric și este transportat de fermentul galben la citocromul b.

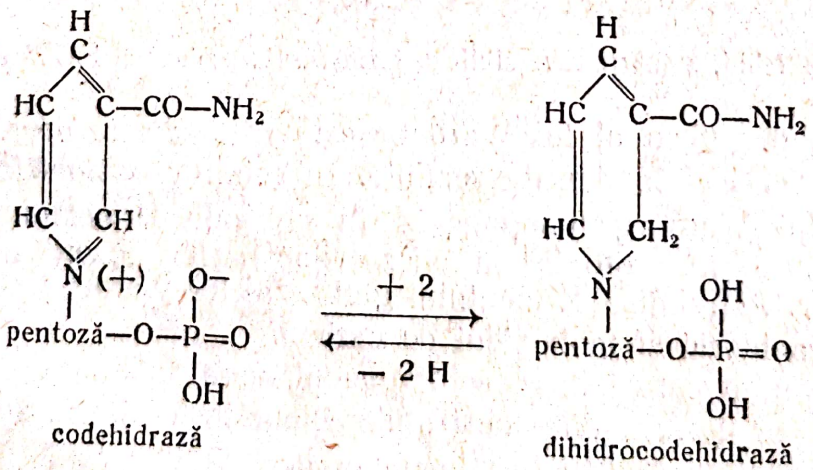
Dehidrazele sînt compuse din două părți; din apoenzimă proteinică și din coenzimă care este partea activă. Coenzima se mai numește și cohidrază. Au fost izolate două forme de codehidraze și anume codehidraza I. (A. Harden și A. Young) și codehidraza II. (O. Warburg și W. Christian). Coenzimele prin hidroliză se desfac în adenină, acid fosforic, pentoză și o amidă a acidului nicotinic. Codehidraza I conține

două molecule de acid fosforic, ea este prin urmare un difosfopiridin nucleotid, iar codehidraza II conține trei molecule de acid fosforic, este trifosfopiridin-nucleotid.



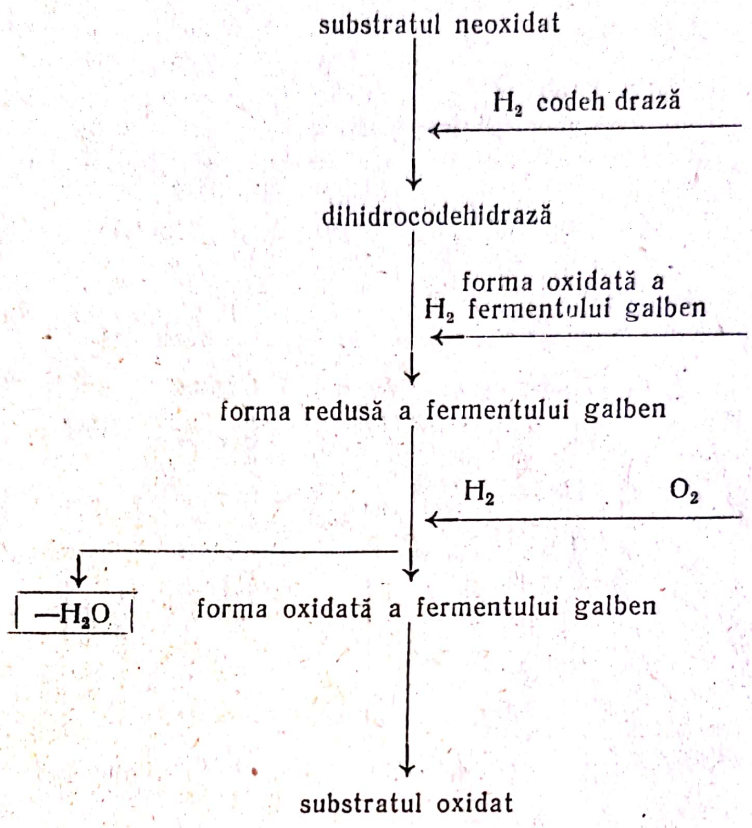
Structura codehidrazei II, sau a trifosfopiridinnucleotidului.

În procesele de oxido-reducere codehidrazele funcționează ca transportor de hidrogen între două componente ale sistemului respirator. Activarea hidrogenului se datorește grupării amidei acidului nicotinic în care un atom de hidrogen se fixează în mod reversibil la C_2 și la acidul fosforic, după cum urmează:



Hidrogenul dihidrocodehidrazei este acceptat de fermentul galben al lui Warburg și prin aceasta trecînd în formă dihidrică, se decolorează și se transformă în leucoferment. Forma dihidrică sau leucofermentul fiind o substanță autooxidabilă se oxidează cu ajutorul oxigenului atmosferic trecînd din nou în ferment galben.

Aceste procese de oxido-reducere dintre fermentul galben al lui Warburg și codehidraza pot fi reprezentate în felul următor:



În cursul proceselor de oxidoreducere hidrogenul fixat de codehidrază este luat de fermentul galben al lui Warburg, care fiind o substanță auto-oxidabilă fixează oxigenul molecular și prin pierderea unei molecule de apă trece în forma sa oxidată.

Activitatea citocromilor a fost pusă în evidență la bacterii (de ex. *Bacillus subtilis, Azotobacter chroococcum, Sarcina lutea, Micrococcus aureus, Vibrio cholerae*), la ciuperci (*Saccharomyces, Torula, Monilia, Oidium* etc.), în florile de Lilium, în fasole, în embrionul de grîu și de orz, în frunzele de tutun etc.

Rolul transportorilor neenzimatici de hidrogen în oxidările celulare

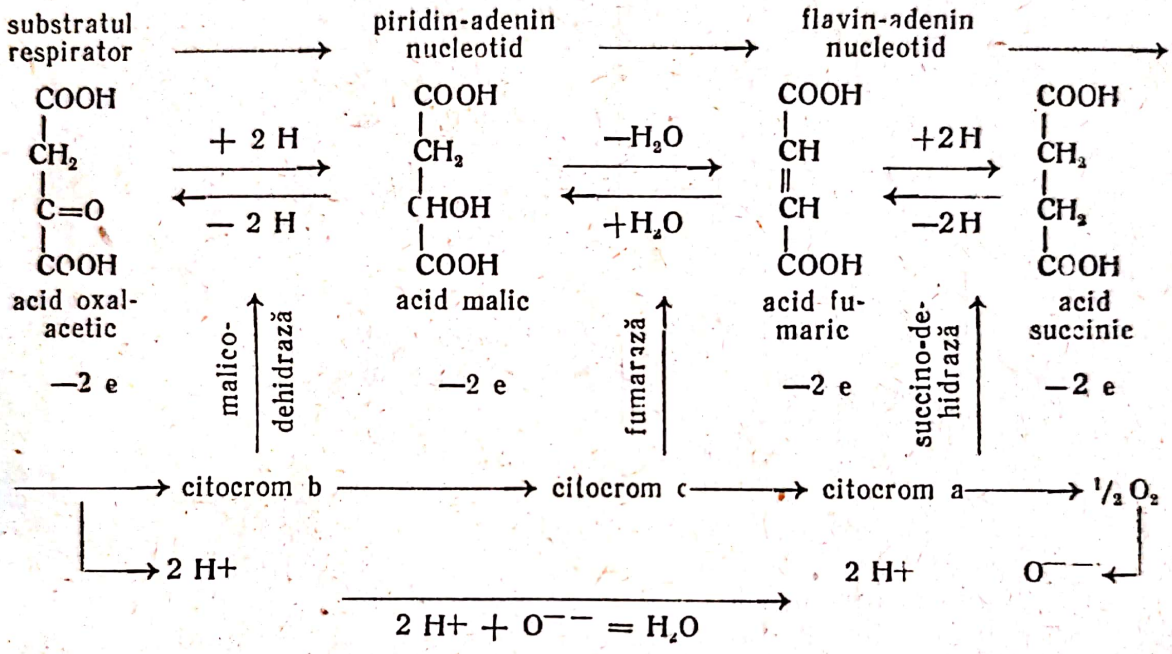
Cercetările mai noi au arătat că în lanțul reacțiilor de oxido-reducere în celulele și țesuturile plantelor mai au rol și o serie de transportori de hidrogen care n-au caracter enzimatic. Dintre aceste sisteme oxido-reducătoare fac parte diacizii tetracarbonici, acidul ascorbic și glutationul.

A. S. Butkevici și V. M. Fedorov au observat pentru prima dată că glucoză sub acțiunea ciupercii *Mucorstolonifer* trecînd prin produsele intermediare de transformare, aldehida acetică → acid acetic → acid succinic → acid fumaric → acid malic se oxidează complect în bioxid de carbon și apă.

A. Szent-Györgyi a observat că diacizii tetracarbonici ca acidul fumaric, acidul oxi-fumaric sau oxalacetic, acidul succinic şi acidul malic accelerează oxidarea acidului piruvic. El a dovedit că aceşti acizi au acţiune catalitică asupra oxidărilor din celule şi la oxidarea acidului piruvic ei apar ca produse intermediare, care se transformă unele în altele.

După teoria lui Szent-Györgyi hidrogenul luat din molecula substratului respirator nu reduce direct citocromul ci trece prin ciclul oxido-reducător al diacizilor tetracarbonici, ciclu care a fost numit ciclul lui Szent-Györgyi sau ciclul catalitic al diacizilor tetracarbonici.

Acest ciclu după D. A. Sabinin se poate reprezenta în felul următor:



Sistemul acid fumaric ⇄ acid succinic în prezenţa succino-dehidrazei reduce citrocromii printr-un transport de electroni. Citocromul redus transportă electronii la citrocrom-oxidază, iar citocromoxidaza la oxigen care prin fixare de electroni se transformă în oxigen ionic.

Hidrogenul rezultat din dehidrogenarea substanţelor organice prin mai multe reacţii intermediare este transportat la acidul succinic şi aici sub acţiunea succino-dehidrazei atomul de hidrogen se descompune în proton şi electron. Protonul de hidrogen trece în soluţie şi formează ionul de hidrogen, iar electronul trece prin sistemul citocromilor şi activează oxigenul. Ionul de oxigen se uneşte cu ionii de hidrogen formînd apă.

Existenţa sistemului acid fumaric ⇄ acid succinic ne o dovedesc observaţiile următoare:

Dintre toate dehidrazele numai succino-dehidraza poate reduce repede şi direct citocromul c.

Succino-dehidraza este foarte răspîndită în celulele plantelor inferioare şi superioare.

Sub acţiunea acidului fumaric respiraţia ţesuturilor vegetale este accelerată.

Acidul malonic inhibează activitatea succinodehidrazei. În prezența acidului malonic putem opri respirația plantelor.

Activitatea acestui sistem reprezentată prin schema de mai sus este posibilă din punct de vedere termodinamic.

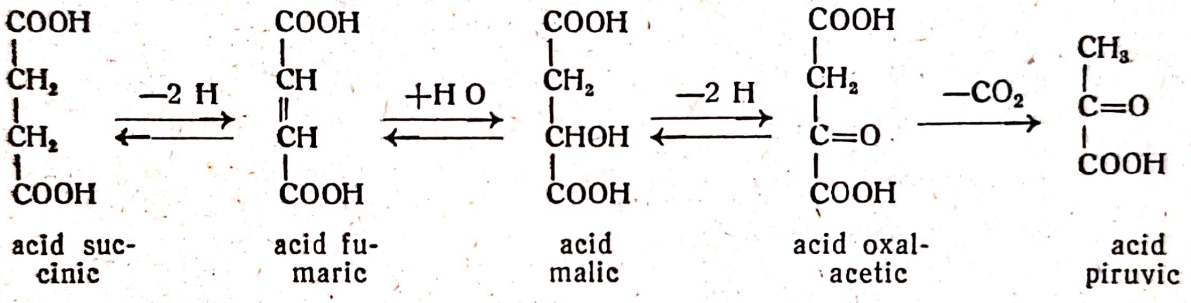
În același timp s-au găsit numeroase fapte care dovedesc existența și funcționarea sistemului acid malic ⇆ acid oxalacetic.

Astfel se știe că fumaraza, enzima care catalizează transformarea acidului fumaric în acid malic, de asemenea este foarte răspîndită atît în plantele superioare cît și în cele inferioare.

S-a observat de asemenea că acidul malic format în corpul plantelor sub acțiunea catalitică a malico-dehidrazei se transformă în mod reversibil în acid oxalacetic. S-a observat că țesuturile vegetale reduc foarte repede acidul oxalacetic.

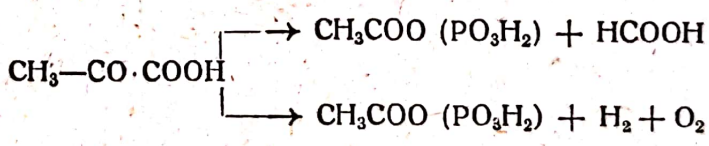
Sistemul citocrom — citocromoxidază poate fi redus numai de către enzima succino-dehidrază. Enzima fumaraza are un rol foarte important în stabilirea echilibrului corespunzător în ciclul diacizilor tetracarbonici.

După concepția lui Szent-Györgyi bioxidul de carbon degajat în respirație rezultă din oxidarea acidului succinic în acid piruvic prin intermediul diacizilor tetracarbonici, după cum urmează:



acid succinic — acid fumaric — acid malic — acid oxalacetic — acid piruvic

Bioxidul de carbon eliminat de către plante în respirație poate rezulta și din decarboxilarea oxidativă a acidului piruvic. S-a observat că în celula bacteriilor descompunerea acidului piruvic se face în felul următor:



Prin urmare, în această carboxilare oxidativă se presupune prezența fosfatului și a unui acceptor de hidrogen și rezultă bioxid de carbon, acetil fosfat și un acceptor redus.

H. A. Krebs a observat că oxidarea acidului acetic care s-a format din acidul piruvic, nu se face cu dehidrogenare directă ci acidul acetic format mai întîi se combină cu acidul oxalic formînd un triacid hexacarbonic, numit acid cis-aconitic. Acidul cis-aconitic este un acid nesaturat și poate lega hidrogenul apei transformîndu-se în acid citric, respectiv izocitric și astfel se formează un amestec de echilibru în care se găsesc acești trei acizi, acidul cis-aconitic, citric și izocitric.

Acidul izocitric sub acțiunea dehidrazei specifice numite izocitrico-dehidrază pierde doi atomi de hidrogen și se transformă în acid oxalo succinic care mai departe prin decarboxilare trece în acid α-ceto-glutaric

și se eliberează bioxid de carbon. Din decarboxilarea oxidativă a acidului α-ceto-glutaric se formează acidul succinic și bioxid de carbon. Acidul succinic format prin dehidrogenări succesive, în ciclul lui Szent-Györgyi trece la formarea acidului oxalacetic.

După cercetările și după concepția lui Krebs sistemul respirator a lui Szent-Györgyi se complectează cu ciclul acidului izo-citric, formînd un sistem mai complicat de transportori de hidrogen neenzimatici, numit ciclul catalitic al lui Szent-Györgyi și Krebs. Mersul reacțiilor al acestui ciclu este reprezentat în schema de mai jos:

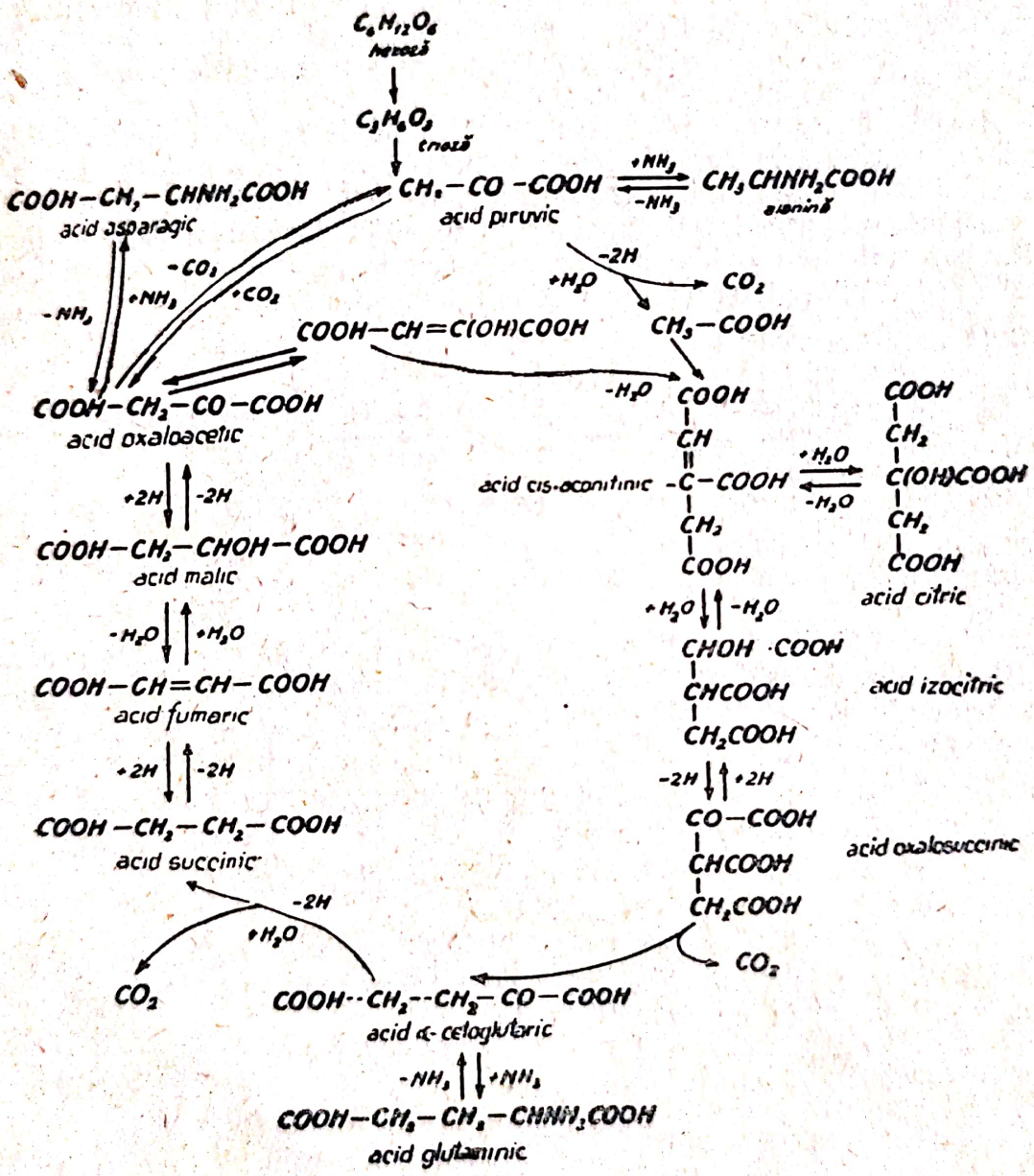


Fig. 175. Schema ciclului catalitic al lui Szent-Györgyi și Krebs (după Sabinin).

Acidul piruvic care se formează în faza anaerobă a respirației, mereu de la început ia parte în lanțul reacțiilor de oxidare în cursul cărora

se formează bioxidul de carbon și apă. În mod schematic rolul acidului piruvic în aceste oxidări se poate reprezenta în felul următor:

$$CH_3\ CO\ COOH + 5\ O = 3\ CO_2 + 2\ H_2O$$

Din reprezentarea schematică a ciclului catalitic a diacizilor tetracarbonici și a triacizilor hexacarbonici reiese că se eliberează bioxid de carbon în trei faze, și anume: la transformarea acidului piruvic în acid acetic, la transformarea acidului oxalo-succinic în acidul α-cetoglutaric și la transformarea acestuia în acid succinic. Din această schemă mai reiese faptul esențial că arderea biologică a moleculei de substrat în cursul respirației nu se face direct ci prin acest sistem complicat de acizi organici.

Importanța acizilor organici în oxidarea acidului piruvic în celulele plantelor ne o dovedesc mai multe fapte și observații.

Acizii organici amintiți în legătură cu ciclul catalitic al lui Szent-Györgyi și Krebs, au fost găsiți în țesuturile plantelor superioare. Enzimele care intervin în transformarea acestor acizi, de asemenea au fost puse și ele în evidență în diferite plante. Foarte răspîndite sînt în ciuperci și țesuturile plantelor superioare enzimele aconitaza, fumaraza, succinodehidraza, izocitrico-dehidraza și malico-dehidraza.

Experiențele au arătat că intensitatea respirației a diferitelor organe vegetale (tuberculi de cartofi, rădăcini de orz și de pătlăgele roșii, frunze de spanac, embrion de ovăz etc.) crește dacă li se administrează acizii organici amintiți.

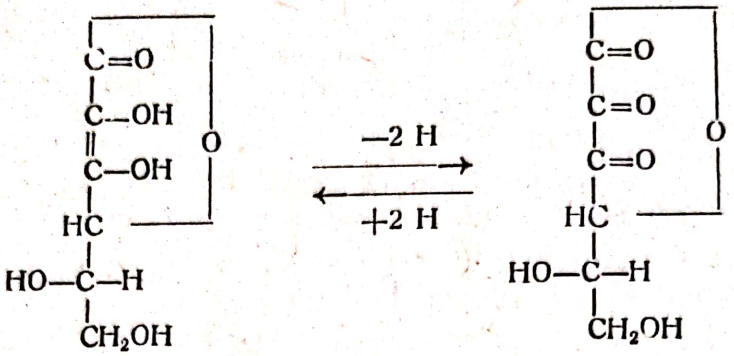
În prezența acidului malonic respirația celulelor vegetale se oprește și în celule se acumulează mari cantități de acid succinic. Procesele biochimice ale fermentației și respirației sînt strîns legate și cu procesele biochimice ale anabolismului. Cercetările făcute în această direcție au arătat că reacțiile exoterme de oxidare a glucozei a găsit că acizii or- intracelulară a amino-acizilor. Deja V. M. Fedorov a găsit că acizii organici din celula plantelor se pot combina cu amoniacul transformîndu-se în acid asparaginic.

Legătura metabolică dintre carbon și azot se realizează prin acidul piruvic, acidul oxalacetic și acidul α-ceto-glutaric. Acești acizi prin aminarea lor formează alanină, acid asparaginic și glutanii, care compuși au un rol important în metabolismul azotului.

Legătura dintre descompunerea hidraților de carbon și metabolismul grăsimilor se realizează prin aldehida acetică, rezultată din descompunerea anaerobă a acidului piruvic și care prin oxidare dă naștere acidului acetic.

În anumite sisteme enzimatice acidul ascorbic poate funcționa ca transportor de hidrogen în oxidările celulare. S-a observat că acidul ascorbic poate juca rol de donator de hidrogen trecînd din forma redusă

la forma oxidată numită acid dehidroascorbic. Această trecere este reversibilă şi este reprezentată în reacţia de mai jos:



acidul ascorbic, forma redusă

acidul dehidroascorbic, forma oxidată

În procesele de oxido-reducere aceste două forme de acid ascorbic sînt transformate după intensitatea proceselor vitale ale plantelor. Raportul procentual al celor două forme este diferit în primele şi în ultimele faze ale coacerii seminţelor la leguminoase, în perioadă de viaţă latentă şi de viaţă activă la tuberculi de cartofi, sau la grîul de toamnă. În perioada de vegetaţie, intensitatea proceselor vitale din diferite organe ale plantei creşte, şi scade cantitatea de acid dehidroascorbic, iar în perioada de repaos anabiotic intensitatea proceselor fiziologice scade şi în schimb creşte cantitatea de acid dehidroascorbic din organele respective.

F. A. Kurţ a arătat că, atunci cînd scade cantitatea procentuală a acidului dehidroascorbic din celule, în acelaşi timp creşte activitatea enzimelor oxidante şi scade cantitatea procentuală a dizaharidelor din plante.

Transformarea acidului ascorbic în procesele de oxido-reducere B. A. Rubin o reprezintă cu schema de mai jos:

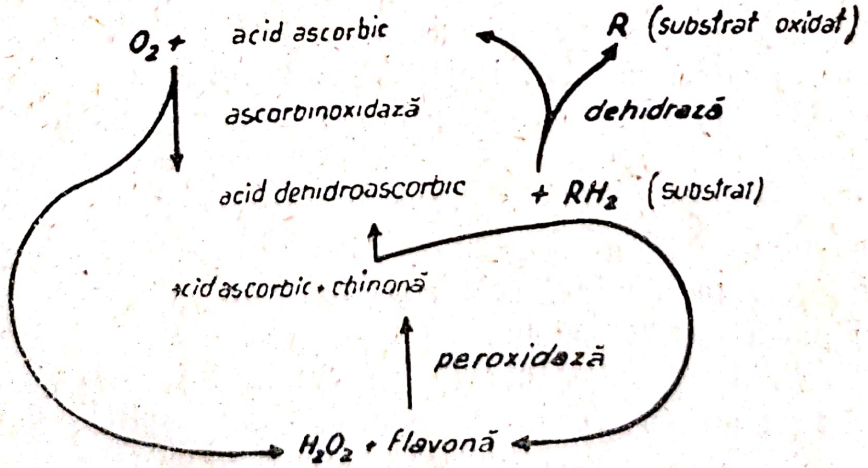


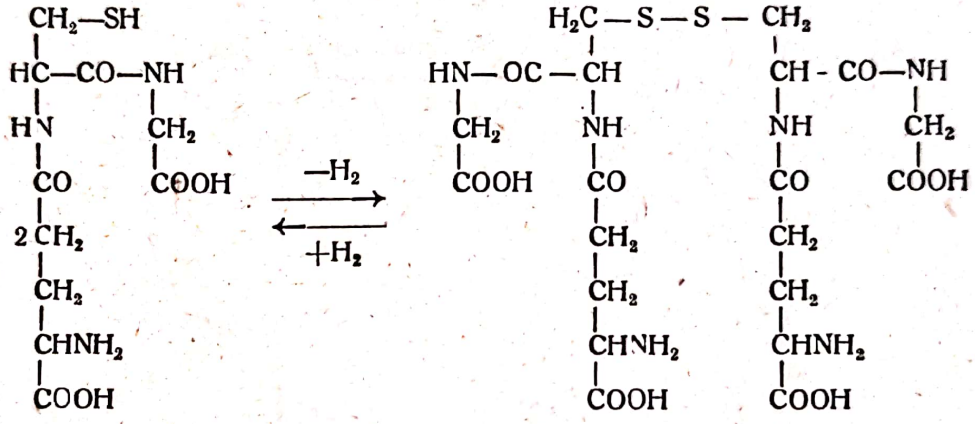
Fig. 176. Rolul acidului ascorbic în oxidările celulare.

Un alt transportor neenzimatic de hidrogen este glutationul, care este un tripeptid format din cisteină, acid glutamic şi glicocol. Glutationul a fost izolat pentru prima dată din drojdia de bere. Funcţia de oxido-

reducere se datorește grupării sulfhidrilice a cisteinei, care prin oxidare reversibilă trece într-o grupare disulfurică, după schema de mai jos:

$$2\ R{-}SH \underset{+H_2}{\overset{-H_2}{\rightleftharpoons}} R{-}S{-}S{-}R$$

Oxidarea respectiv dehidrogenarea glutationului se face în mediu bazic, iar reducerea respectiv hidrogenarea lui se face în mediu acid. Datorită acestei transformări reversibile molecula de glutation din forma sa redusă în mod reversibil trece în formă oxidată și în același timp joacă un rol de transportor de hidrogen în procesele de oxido-reducere ale zaharurilor, grăsimilor și proteinelor. Sistemul oxido-reducător al glutationului este reprezentat prin ecuația de mai jos:



glutation, forma redusă — glutation, forma oxidata

Reacția de mai sus se petrece continuu în țesuturile vegetale și cele două forme de glutation se găsesc simultan în protoplasmă. În țesuturile cele mai active din punct de vedere al respirației; cum ar fi de exemplu bobul de soia germinat, forma redusă este dominantă.

Funcționarea diferitelor sisteme oxido-reducătoare în respirația plantelor

Din cele expuse pînă aici reiese că procesele oxidării celulare sînt compuse din reacțiuni de oxidare și de reducere în urma cărora simultan cu oxidarea unor substanțe se petrece reducerea unei alte substanțe. În legătură cu oxidările celulare se mai constată și faptul că oxidarea celulară nu poate fi concepută ca rezultatul unui singur sistem de oxido-reducere, ci ea este un complex al mai multor procese, catalizate de diferite sisteme de enzime, prin urmare punerea în libertate a energiei în respirație are mai multe căi biochimice. În una și aceiași celulă în mod simultan pot funcționa diferite sisteme oxido-reducătoare, unele din ele se influențează în mod favorabil. Așa de exemplu S. Thurlow (1925) și D. M. Mihlin-P. A. Kolesnicova au arătat că peroxidazele din organisme vegetale împreună cu oxidazele flavo-proteice (fermentul galben al lui Warburg) formează un sistem de oxido-reducator conjugat.

Funcţionarea diferitelor sisteme oxido-reducătoare după D. A. Sabinin se poate reprezenta prin următoarea schemă:

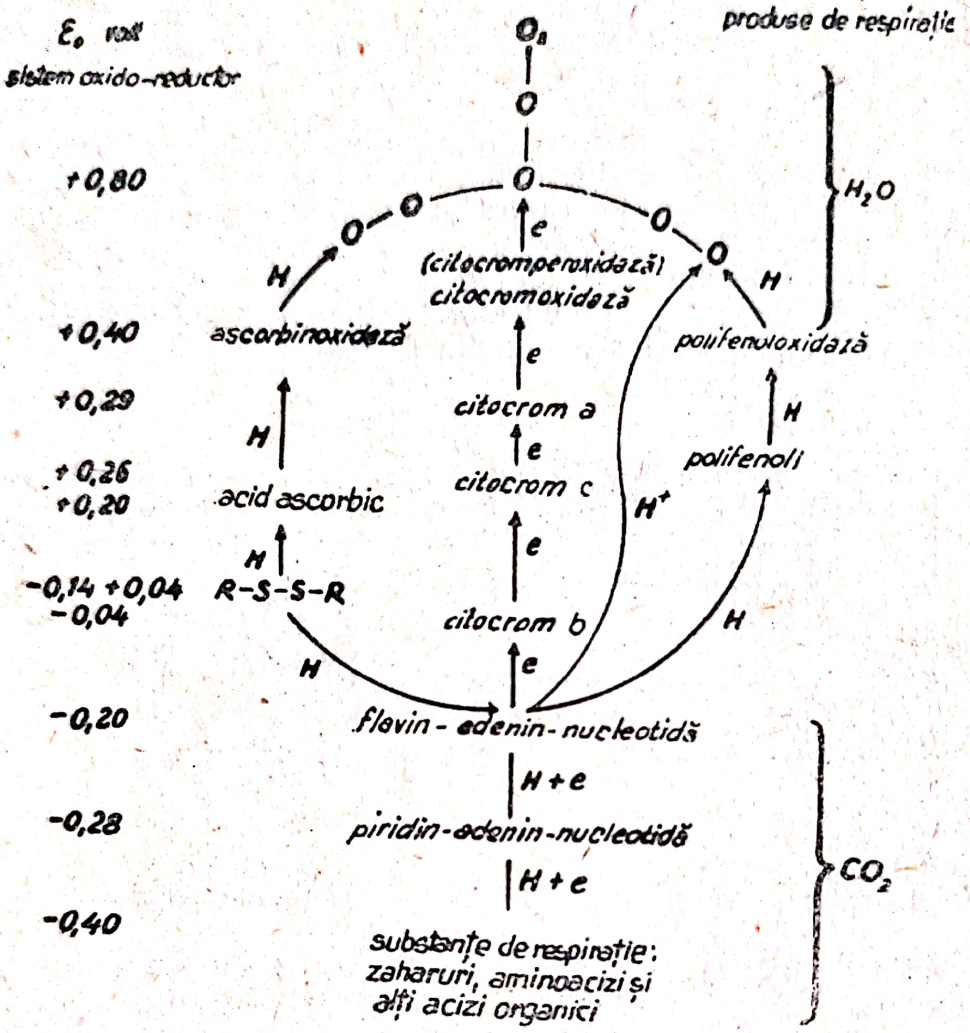


Fig. 177. Ciclul diferitelor sisteme enzimatice în procesul biooxidaţiilor celulare.

Mai mulţi cercetători ca N. N. Kriukova, Marsch şi G. Goddard, Porter şi Lincoln, B. A. Rubin, N. M. Sisakian, D. M. Mihlin şi P. A. Kolesnikov în baza cercetărilor experimentale au stabilit că în embrionii plantelor şi în primele faze ale dezvoltării ontogenetice activitatea citocromilor este dominantă în respiraţia celulară şi oxidările, datorită polifenoloxidazelor sînt mai reduse. În organismele vegetale dezvoltate, cele mai răspîndite şi mai active sînt polifenoloxidazele.

BIBLIOGRAFIE

1. *Bonnier, G.:* Leclerc du Sablon, Cours de Botanique. Paris, 1930, pag. 2097-2187.
2. *Fedorov, M. V.:* Promejutocinie perenoscichi vodoroda i ih znacenie v protessah dihania (obzor). Microbiologhi a, Tom. XXII, vip. 5, Moscva, 1953, pag. 586—600.
3. *Frenyo V.:* A new method to study plant respiration. Botanikai Közlemények, XLIV. kötet, 1—2. füzet, 1954, pag. 11—18.

4. *Guttenberg, V. R.:* Lehrbuch der Allgemeinen Botanik. Berlin, 1952, pag. 472—487.
5. *Kostytschew, S.:* Lehrbuch der Pflanzenphysiologie. Berlin, 1926, erster Band, pag. 452—562.
6. *Kretovici, V. L.:* Osnovî biohimii rastenii. Moscva, 1952, pag. 322—360.
7. *Maximov, N. A.:* Fiziologia plantelor. ES, Bucureşti, 1951, pag. 255—282.
8. *Mihlin, D. M.* şi *Kolesnicov, P. A.:* O dihatelnîi sistemah rastenii. Nr. 12/5, Moscva, 1947.
9. *Moisescu, N.:* Fiziologia vegetală experimentală. Bucureşti, 1907, pag. 156—175.
10. *Nenițescu, C. N.:* Tratat elementar de chimie organică. Bucureşti, 1947, vol. II, pag. 684—693.
11. *Palladin, A. V.* Manual de chimie biologică. ES, Bucureşti, 1949, pag. 290—299, 306—323.
12. *Rubin, B. A.:* Fiziologhiia rastenii. Moscva, 1951, pag. 254—343.
13. *Sabinin, D. A.:* Fiziologhiceschie osnovî pitaniia rastenii. Moscva, 1955, pag. 388—454.
14. *Sălăgeanu, N.* şi *Boldor, O.:* Despre schimbul respirator în decursul stimulării cu etilen a coacerii caiselor şi piersicilor. Analele Universităţii „C. I. Parhon" Bucureşti, seria Ştiinţelor Naturii, 10, 1953, pag. 72—78.
15. *Sălăgeanu, N.* şi *Petrea, V.:* Despre influenţa unor săruri asupra germinaţiei şi respiraţiei cîtorva soiuri de grîu. Analele Universităţii „C. I. Parhon" Bucureşti, seria Ştiinţelor Naturii, 11, 1953, pag. 153 — 159.
16. *Soru, E.:* Biochimie medicală. Bucureşti, 1953, pag. 289—342.
17. *Warburg, O.:* Photodissoziation und induzierte Atmung, die Fundamental-Reaktionen der Photosynthese. Die Naturwissenschaften, 42. Jahrgang, Heft 16, 1955, pag. 449—450.

SCHIMBUL DE ENERGIE LA PLANTE

Între mediul şi planta, pe lîngă schimbul de materie, se realizează şi un schimb de energie. Plantele pot îngloba din aer, apă şi sol cantităţi diferite de energie electrică, termică, luminoasă, chimică etc. La studiul asimilaţiei am văzut că, plantele verzi absorb energia luminoasă a razelor solare. Această energie prin reacţii endotermice ce se realizează în cursul fotosintezei se transformă şi se înmagazinează în substanţele asimilate sub formă de energie chimică. Am văzut că la formarea zahărului se acumulează 674 calorii mari şi care în reacţiile exotermice ce se petrec în cursul respiraţiei se eliberează din nou, după cum ne arată ecuaţia de mai jos:

$$6\ CO_2 + 6\ H_2O + 674\ Cal \longrightarrow C_6H_{12}O_6$$
$$C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2 \longrightarrow 6\ CO_2 + 6\ H_2O + 674\ Cal.$$

Energia astfel eliberată este transmisă mediului ambiant sub diferite forme ca, energie termică, luminoasă, mecanică şi electrică.

Din cele spuse rezultă că organismele vegetale nu creează energie, ci numai o transformă şi astfel şi în cazul proceselor fiziologice ale plantelor este valabil primul principiu al termodinamicii. După acest principiu energia nu poate fi creată sau distrusă şi în natură orice sistem are o anumită cantitate de energie (legea conservării energiei al lui V. Mayer).

Valabilitatea primului principiu al termodinamicii pentru procesele vitale ale plantelor a fost dovedită şi experimental. Aşa E. Terroine şi

R. Wurmser au făcut determinări cantitative de energie în culturile de *Sterigmatocystis nigra* şi au ajuns la următoarele rezultate:

Căldura arderii soluţiei nutritive înainte de însămînţare (E_1)	6,46 Cal.
Căldura de ardere a soluţiei nutritive rămasă după cultură (E_2)	0,51 Cal.
Calorii obţinute prin arderea miceliilor (P)	3,35 Cal.
Greutatea miceliilor	0,74 g.

Cantitatea de căldură (Q) produsă în cursul degajării bioxidului de carbon este următoarea:

$$Q = 0{,}740 \times 548 \times 0{,}005$$

In această ecuaţie cifra de 548 este egală cu bioxidul de carbon produs de 1 g. de miceliu, 0,005 este egal cu valoarea caloriilor eliberate cu ocazia degajării unui cmc de bioxid de carbon. Din cifrele astfel obţinute se poate calcula că:

$$E_1 - E_2 = 6{,}46 - 0{,}51 = 5{,}95$$
$$P + Q = 3{,}55 + 2{,}02 = 5{,}57$$

adică diferenţa este = 0,38, care rezultă din greşeli tehnice.

Rezultate asemănătoare au obţinut cu culturi de *Aspergillus niger* şi Algera şi pe urmă V. Tauson care deasemenea au arătat că în cursul formării culturilor ciupercii nu s-a format şi nici nu a dispărut energie.

Am văzut de asemenea la capitolul de fotosinteză că, 90% din energia solară absorbită de frunză se transformă în energie termică şi numai cel mult 10% din această energie este transformată în fotosinteză în energie chimică.

In schimbul de energie dintre plantă şi mediul ei înconjurător este valabil şi principiul al doilea al termodinamicii sau principiul entropiei după care energia calorică nu poate fi transformată total în altă formă de energie ci în acelaşi timp se produc şi alte transformări energetice.

In baza experienţelor făcute cu culturi de *Aspergillus niger* V. Tauson constată că energia utilizată de această ciupercă este numai o parte a energiei totale din cultură. Bilanţul energetic al lui *Aspergillus niger* după calculele lui Tauson este următorul:

Căldura de ardere a soluţiei nutritive înainte de însămînţare a fost	6000 cal.	
Căldura de ardere a soluţiei nutritive rămase după cultură	125 cal.	
Energia pierdută de către mediul de cultură		5875 cal.
In schimb căldura de ardere a miceliilor dezvoltate este	3480 cal.	
Energia întrebuinţată pentru diferite funcţiuni fiziologice	1060 cal.	
Energia cheltuită de către micelii a fost prin urmare		4540 cal.
Diferenţa dintre cele două rezultate, adică		
energia pierdută de către mediul de cultură		5875 cal.
energia cheltuită de către micelii a fost		4540 cal.
Energia calorică pierdută este prin urmare		1335 cal.

Scanned with OKEN Scanner

Cunoscînd bilanțul energetic putem calcula randamentul energetic, care exprimă procentual întrebuințarea energiei raportată la energia totală absorbită.

E. Terroine, A. Bonnet și P. H. Joessel au stabilit că randamentul energetic al semințelor germinate este în legătură cu natura materiilor de rezervă, după cum reiese și din tabelul de mai jos:

	din energia transformată se întrebuințează:
semințe amidonoase (orez și sorg)	73%
semințe albuminoase (mazăre, linte)	63%
semințe uleioase (*Arachis*, in)	53%

La bacteriile hetorotrofe randamentul energetic după V. M. Fedorov variază în modul următor:

	din energia transformată se întrebuințează:
Bacterium pyocyaneum	27,7%
„ *coli*	30,8%
„ *proteus-vulgaris*	19,9%
„ *typhi*	11,6%

Bacteriile autotrofe arată un randament energetic și mai redus. Așa de exemplu pentru bacteriile nitrificante randamentul energetic după datele lui S. N. Vinogradski este 6,0% iar după V. Henry 6,5%.

ELIBERAREA ENERGIEI MECANICE ÎN PROCESELE FIZIOLOGICE ALE PLANTELOR

Energia eliberată în procesele fiziologice ale plantelor rezultă în parte din transformarea energiei chimice, în parte din energia imbibiției sau din energia osmotică. Energia de imbibiție este utilizată în realizarea mișcărilor de imbibiție, iar energia rezultată din fenomenele de osmoză este întrebuințată la realizarea mișcărilor de variațiune sau de turgescență.

În cursul creșterii plantelor de asemenea se eliberează mari cantități de energie, care se poate transforma și manifesta sub formă de energie mecanică. Datorită acestei energii organele vegetale în creștere pot efectua un lucru mecanic. Cu ajutorul energiei de creștere pot pătrunde rădăcinile în sol, pot da la o parte particulele solului, pot ridica și crăpa pietre și blocuri de stînci și pot susține masele mari și grele ale organelor aeriene.

Energia mecanică produsă în corpul plantelor joacă un rol important în circulația sevei, în ridicarea apei în organele vegetale. Rezistența la secetă a plantelor în mare parte depinde de energia de imbibiție a biocoloizilor celulelor.

Scanned with OKEN Scanner

TERMOGENEZA

Corpul plantelor nu are organe sau dispoziţive speciale pentru reglarea temperaturii corpului lor şi de aceea temperatura lor este identică cu temperatura mediului ambiant. Impiedicînd însă radierea căldurii şi transpiraţia plantei putem constata că temperatura plantelor se ridică, adică ele produc căldură. Căldura produsă de plante în mare parte rezultă din energia chimică transformată şi numai într-o mică măsură rezultă din energia de imbibiţie a biocoloizilor.

Această energie calorică în parte se utilizează în procesele de reducere ale azotaţilor, sulfaţilor etc. din corpul plantelor, o mare parte se utilizează în transpiraţia plantelor şi în fine o parte din această căldură este iradiată în mediul ambiant.

Temperatura plantelor în modul cel mai simplu o putem măsura cu ajutorul termometrelor. Pentru acest scop aşezăm în pîlnia A seminţe încolţite de orz (fig. 178) şi în seminţe introducem un termometru sensibil. În pîlnia B punem seminţe de orz fierte şi un alt termometru. După cîtva timp mercurul termometrului din vasul A se ridică cu cîteva grade. În pîlnia B temperatura rămîne neschimbată.

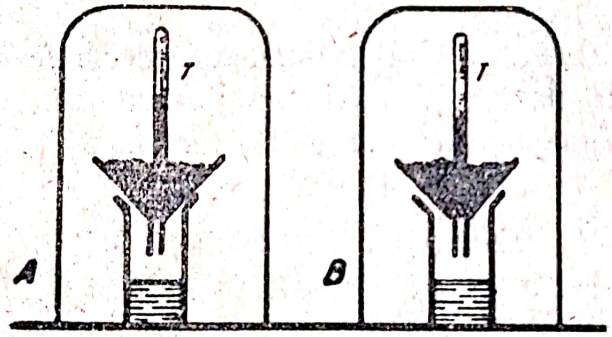


Fig. 178. Punerea în evidenţă a căldurii produse de seminţe germinate cu ajutorul termometrelor. Schemă

Determinări mai exacte putem face dacă punem seminţe germinate sau flori într-un borcan termos sau în vasul Dewar (fig. 179) şi pe care îl aşezăm într-o ladă cu talaj sau rumeguş de lemn. Cu ajutorul unui termometru sensibil aşezat în vas cu seminţe putem determina temperatura seminţelor, respectiv a florilor. Comparînd temperatura găsită cu temperatura mediului ambiant putem stabili căldura produsă de seminţe germinate.

Prin metoda termoelectrică putem măsura şi diferenţe mai mici de temperatură. Pentru acest scop întrebuinţăm nişte ace sau pile termoelectrice (fig. 180). O pilă termoelectrică este formată din sudura a două metale diferite, de exemplu fier şi cupru. La o diferenţă de tem-

peratură între cele două metale ia naștere o diferență de potențial, care se poate măsura cu un galvanometru. Așezînd două ace termoelectrice

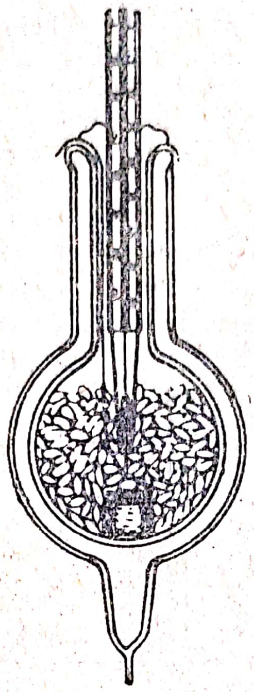


Fig. 179. Măsurarea căldurii eliberate din respirația semințelor germinate în vasul Dewar. (Din cartea lui Maximov).

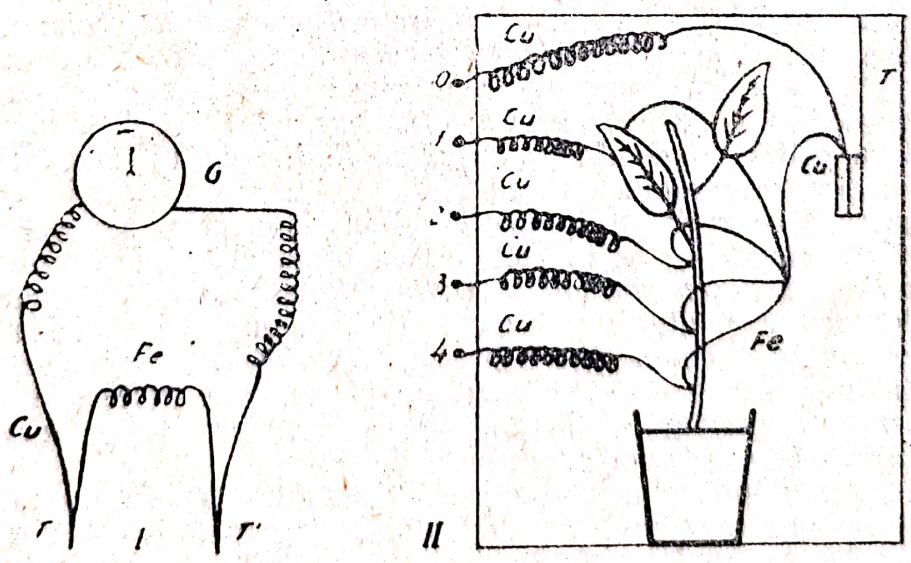


Fig. 180. Măsurarea temperatuii plantelor. I. — schema pilei termoelectrice; G — galvanometru; Fe — fir de fier; Cu — fir de cupru; T și T', — locurile de sudură. II. — schema aparatului lui Louguinine și Dupont; T — termometru Cu — fir de cupru; Fe — fir de fier; 0,1,2, 3,4 — borne electrice. (după Bonnier — Leclerc du Sablon).

la două tulpini de temperaturi diferite vom observa că acul galvanometrului deviază. Diferența de temperatură se poate deduce din deplasarea acului galvanometrului. Sensibilitatea metodei o putem mări dacă întrebuințăm pile termoelectrice în serii.

Cu ajutorul acestor metode s-a putut stabili că plantele emit cantități considerabile de energie termică. Așa de ex. H. Molisch măsurînd temperatura frunzelor proaspete în vasul Dewar a găsit următoarele valori de temperatură:

Numele plantei	Temperatura aerului °C	Temperatura maximă a frunzelor, °C	Timpul în ore după care s-a observat maximul de temperatură
Părul pădureț	15	59	27
Carpenul	23	51,5	15
Salcîmul alb	24	51	13
Teiul	18	50,8	27,5
Nucul	15	41,7	42,5
Salcie moale	15	47,1	22
Salcim galben	18	45,6	18,5
Vița de vie	17	43,3	28

Temperatură considerabilă produc și semințele germinate. Așa de exemplu temperatura semințelor de mazăre în cursul germinării lor se ridică cu 1,5-2,0°C. Rizomii în general arată o ridicare de temperatură de 0,5-1,5°C (Seignette). Temperaturi considerabile s-au constatat și în cazul crganelor tinere în deplină creștere. Așa de exemplu Dutrochet a măsurat în cazul tulpinilor tinere de *Euphorbia lathyris* o diferență de temperatură de 0,34°C față de temperatura ambiantă. Temperaturi și mai ridicate au fost puse în evidență în cazul florilor de Aracee, Cactacee, Palmieri etc. Așa de exemplu temperatura inflorescențelor de *Arum maculatum* a fost cu 8,5°C, de *Arum italicum* cu 17°C, de *Sauromatum guttatum* cu 8-10°C și de *Amorphophallus Rivieri* cu 15°C mai ridicată, de cît temperatura aerului.

Frunzarul pădurilor se încălzește și el datorită termogenezei bacteriilor și ciupercilor ce se dezvoltă în cantitate mare în frunzar. După datele lui Miehe *Bacterium coli* și *Oidium lactis* pot ridica temperatura frunzarului sau a fînului umed la + 40°C. Anumite bacterii produc o temperatură și mai mare. Dintre acestea *Bacillus calfactor* urcă temperatura fînului pînă la 70°C. Aceste organisme care trăiesc în condiții de temperaturi ridicate se numesc organisme termofile. Temperatura optimă pentru procesele lor vitale este de 40-70°C.

Termogeneza plantelor se explică prin faptul că ele nu utilizează toată energia eliberată din oxidările celulare pentru procesele lor vitale.

Bacteriile, Myxomicetele și ciupercile termofile uneori pot elibera în procesele lor de respirație și de fermentație căldură, ajungînd la peste 70°C, temperatură la care unele gaze rezultate din metabolismul lor deja se aprind și fînul respectiv frunzarul împreună cu toate microorganismele sînt arse. Fenomenul observat în natură că primăvara zăpada se topește

mai repede pe suprafețele înierbate de sol, decît pe suprafețele neacoperite cu vegetație, este în legătură cu căldura produsă de plantele care formează pajiștea. Tulpinile tinere fragede ale plantelor de primăvară timpurie (*Galanthus nivalis, Scilla bifolia*) și de munte (*Soldanella*) străbat pătura de zăpadă datorită căldurii lor produse în urma creșterii și respirației lor.

Legătura dintre termogeneza și respirația plantelor a fost dovedită în mod experimental de către Garreau, care a măsurat temperatura inflorescențelor de *Arum italicum* și cantitatea oxigenului absorbit de aceste inflorescențe în cursul respirației lor. Datele lui Garreau sînt rezumate în tabelul de mai jos:

Timpul observației	Ridicarea temperaturii după 1 oră în ° C	Volumul oxigenului în cmc absorbit de către inflorescență
ora 4 și 30 p. m.	3,2	11,1
ora 5 și 30 p. m.	5,3	16,2
ora 6 și 30 p. m.	7,8	21,4
ora 7 și 30 p. m.	8,3	28,5
ora 8 și 30 p. m.	6,0	14,2
ora 9 și 30 p. m.	2,7	5,7

Din datele tabelului de mai sus reiese că ridicarea temperaturii organelor crește paralel cu cantitatea oxigenului întrebuințat pentru respirație; adică cu creșterea intensității respirației a inflorescențelor de *Arum* se intensifică și termogeneza.

Cantitatea de căldură produsă de plante poate fi determinată cu metoda calorimetrică. G. Bonnier a determinat cantitatea de căldură produsă într-un minut de 1 kg materie vegetală și a găsit următoarele valori de calorii:

Numele plantei	Caloriile produse într-un minut de 1 kg de	
	semințe germinate	flori
Mazăre	60—125	8
Grîu	20— 50	5
Porumb	90—138	5
Orz	40— 62	2—4

Termogeneza plantelor este influențată de factori diferiți. Am văzut că speciile diferite de plante și diferitele organe ale unei specii produc cantități diferite de temperatură. Numărul caloriilor produse variază și după fazele de dezvoltare ontogenetică a plantei. Pentru a arăta termo-

Scanned with OKEN Scanner

geneza în diferite faze de dezvoltare ontogenetică în tabelul de mai jos vom arăta căldura produsă de orz în diferite faze de dezvoltare după datele lui G. Bonnier.

Fazele dezvoltării ontogenetice a plantelor	Numărul caloriilor produse într-un minut de 1 kg de material vegetal viu
Cariopse de orz după 24 de ore de imbibiție în apă	5
Apariția radiculelor	62
Rădăcină principală de 3 mm	70
Plantule de 80 mm după germinare	15
Tulpini cu frunze	0
Spice înainte de înflorire	2
Spice după înflorire	4

Termogeneza plantelor mai este influențată de starea fiziologică a plantei, de temperatura mediului și de oxigenul aerului. Traumatismul accelerează respirația plantelor și astfel influențează și termogeneza. Sub influența factorilor termogeneza plantelor prezintă, după cum au arătat Van Beck și Bergsma o anumită periodicitate.

PRODUCEREA DE LUMINĂ LA PLANTE. BIOLUMINESCENȚA

In cursul proceselor de transformare a energiei plantele pot produce și energie luminoasă. Aceste fenomene de producere de lumină ale plantelor au fost numite fotogeneză și în timpul din urmă bioluminescență.

Fenomenul bioluminescenței a fost observată la specii de bacterii, de ciuperci și de alge. A. Heller a observat pentru prima dată că, lumina observată la putrezirea peștilor este cauzată de un microorganism, pe care el l-a numit *Sarcina noctiluca*. Astăzi deja cunoaștem un mare număr de specii de bacterii luminescente. Dintre acestea amintim specia *Bacterium lucens*, care trăiește pe pîinea stricată, *Bacterium phosphoreum*, care trăiește pe pești putreziți și pe pîinea stricată. Pe corpul peștilor, care trăiesc în Marea Baltică s-a găsit specia *Photobacterium balticum*, *Pseudomonas luminescens* și *Phosphobacterium luminoseum*. Bacteriile luminescente au mai fost numite și fotobacterii și ele trăiesc în general în apele marine și în special în mările tropice, care din cauza numărului mare de fotobacterii sînt și ele luminescente.

Miceliile persistente numite rizomorfe ale ciupercii *Armillaria mellea* produc o luminescență puternică. Ele cauzează luminescența lemnului putred. Miceliile speciilor *Polyporus sulphureus* și *Mycena illuminans* de asemenea produc o luminescență puternică. La ciuperca *Pleurotus olearius* tot corpul de fructificație, pălăria și piciorul este luminescent.

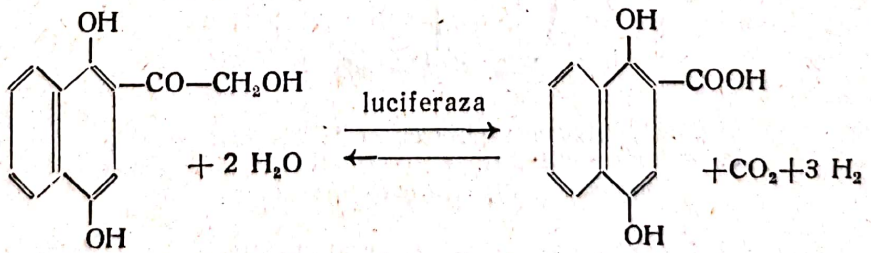
Algele luminescente sînt de asemenea marine și ele fac parte din speciile *Peridinium divergens* și *Ceratium tripos* din grupa Perideneelor

Plantele luminescente produc o lumină destul de puternică. Așa de exemplu culturile de fotobacterii pot servi ca lampă de cameră („lampă de bacterii"), lumina lor provoacă curburi geotropice la plantele superioare, însă nu produc reacțiuni fotosintetice. Lumina produsă de plante este de culoare alb-verzuie, sau alb-albăstruie, este o lumină rece care este compusă din raze cu lungimi de undă de 2900—6100 A.

Producerea energiei luminoase la plante este o chimioluminescență datorită reacțiilor chimice de oxidare. De fapt este cunoscut că bacteriile, ciupercile și algele luminescente produc lumină numai în prezența oxigenului. Această constatare a servit lui Beijerinck, pentru elaborarea metodei de punerea în evidență a oxigenului degajat în fotosinteză cu ajutorul fotobacteriilor avide de oxigen. A. Mudrak a arătat că fotobacteriile produc lumină și în lipsa oxigenului molecular atmosferic, dacă pot lua oxigenul necesar chimioluminescenței din altă sursă, de exemplu de la bacteriile denitrificante. Experiențele au arătat că sărurile de clorură de sodiu și clorură de magneziu favorizează bioluminescența. Beijerinck a constatat că, peptona este un aliment necesar fotobacteriilor, care însă, cum a arătat A. de Coulon poate fi înlocuită prin aminoacizi. Bioluminescența bacteriilor este stimulată și de hidrații de carbon.

In legătură cu mecanismul producerii luminii la organismele fotogene, Fabre a constatat că, fotogeneza este un proces, care necesită oxigen și nu este identică cu oxidările din respirație. După teoria lui L. Dubois (1885) în celulele organismelor producătoare de lumină, se formează o substanță fotogenă, care sub acțiunea enzimei fotogenaza se transformă într-o altă substanță numită luciferină. Luciferina cu ajutorul oxigenului atmosferic, sub acțiunea catalitică a enzimei luciferaza se oxidează și emite lumină.

Cercetările mai noi în mare parte au dovedit teoria lui Dubois și au arătat că, în declanșarea bioluminescenței joacă rol două enzime: fotogenaza și luciferaza. Sub acțiunea fotogenazei din substanțele proteice ale celulelor ia naștere substanța numită luciferina, care se găsește fin dispersată în masa protoplasmatică. A. Kluyver (1942) a stabilit compoziția chimică și structura luciferinei. După concepția actuală luciferina sub acțiunea enzimei luciferaza pierde hidrogen și se transformă în oxiluciferină, conform reacției de mai jos:



luciferina oxiluciferină

Hidrogenul eliberat din molecula luciferinei se unește cu oxigenul atmosferic formînd apă și din această reacție exotermică energia se eliberează sub formă de energie luminoasă. Oxiluciferina este hidrogenată din nou de combinațiunile fosfoorganice ale protoplasmei și astfel se regenerează luciferina. Luciferina regenerată sub acțiunea luciferazei se oxidează din nou, atomii săi de hidrogen eliberați se unesc cu o altă

moleculă de oxigen atmosferic şi din nou se eliberează din această reacţie energie luminoasă, iar oxiluciferina se regenerează din nou. În acest fel — în cursul fotogenezei reacţia se repetă de foarte multe ori şi în cursul reacţiunilor de oxidare şi reducere cantitatea luciferinei şi luciferazei rămîne aceiaşi, în schimb combinaţiunile fosfoorganice se transformă în combinaţiuni anorganice.

Razele mitogenetice ale lui Gurvici

După concepţia lui Gurvici plantele eliberează energie şi cu ocazia diviziunilor celulare. După Gurvici celulele vegetale în cariocineză produc radiaţiuni de lungimi de undă foarte scurtă, care au fost numite raze mitogenetice. Razele mitogenetice stimulează diviziunea celulelor care se află în fază intercinetică.

PRODUCEREA DE ENERGIE ELECTRICĂ LA PLANTE

Se ştie de multă vreme că plantele vii produc energie electrică. Diferenţa de potenţial produs în corpul plantelor poate fi pusă în evidenţă cu ajutorul galvanometrelor şi electrometrelor capilare.

Cu aceste metode de măsurare a fost pusă în evidenţă diferenţa de potenţial electric la tuberculi, rădăcini şi fructe de E. Becquerel (1851), sau la frunze de Műnck (1886) şi Kunkel (1878). Mişcarea ritmică a frunzelor de *Desmodium gyrans* a fost explicată de J. Chunder Bose cu

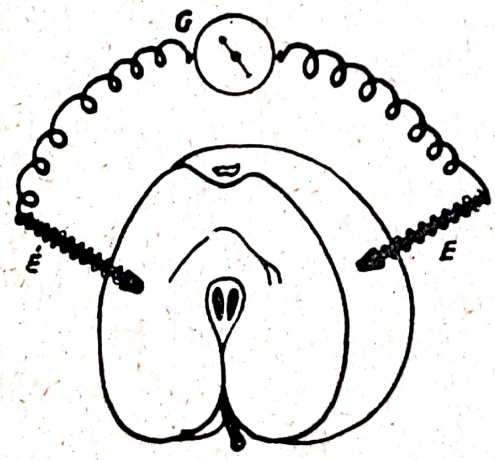


Fig. 181, Măsurarea diferenţei de potenţial electric la un măr secţionat. E — electrozi ; G — galvanometru (după Beznák—Hortobágyi).

ajutorul potenţialului electric din plante. Diferenţa de potenţial electric o putem pune în evidenţă în cel mai simplu caz dacă secţionăm un măr sau un tubercul de cartof în două şi pe suprafaţa de secţionare şi epiderma mărului punem cîte un electrod inpolarizabil pe care îi punem în contact cu un galvanometru (fig. 181). Devierea acului galvanometrului ne arată că, ţesuturile parenchimatice ale mărului sînt negative, iar epiderma lui este pozitivă şi astfel de la porţiunea cu potenţial mai ridicat curge un curent electric spre potenţialul mai puţin ridicat. Se naşte astfel un curent, care a fost numit curent de repaus.

Experienţe analoge au fost făcute şi pe frunze. Un electrod este aşezat în contact cu mezofilul frunzei, celălalt cu nervura mediană a frunzei. Acul galvanometrului ne arată direcţia curentului de repaos de la nervură către mezofilul frunzei.

Experienţele au arătat că direcţia curentului de repaus la o plantă este diferită între diferitele organe ale sale (fig. 182).

Dacă excităm planta cu ajutorul unui curent electric atunci se produce în plantă un curent de sens contrar celui de repaus, numit curent de acţiune sau variaţie negativă.

Diferenţa de potenţial măsurat în plantă în general este mică, ea variază între 0,02—0,15 V.

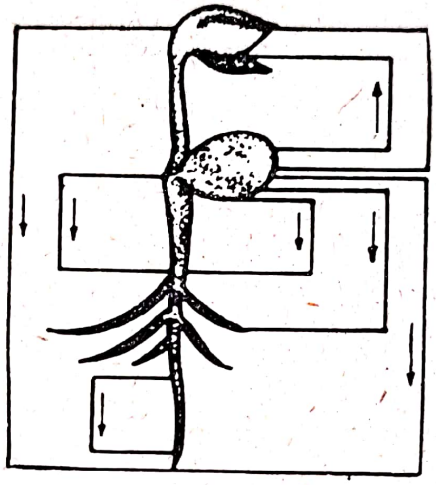


Fig. 182. Direcţia curentului de repaus într-o plantulă de fasole. Schemă

Diferenţa de potenţial observată în plantă este determinată după Kunkel de variata circulaţiei apei în interiorul plantei. După Haake această diferenţă de potenţial rezultă din activitatea proprie a celulei.

Pentru a dovedi această teorie Haake arată că, intensitatea respiraţiei şi a asimilaţiei influenţează asupra valorilor potenţialului electric. În lipsa oxigenului şi a luminii diferenţa de potenţial al plantei respective este mai redusă.

După W. Pfeffer şi Stoppel în producerea energiei electrice la plante, joacă un rol important şi fenomenele de difusie şi de osmoză.

BIBLIOGRAFIE

1. *Bonnier, G.* Leclerc du Sablon, Cours de Botanique. Paris, 1930, pag. 2550—2584.
2. *Kerk, van der, G.:* Untersuchungen über die Bioluminescens von Leuchtbakterien. Utrecht, 1942, Teză.
3. *Moisescu, N.:* Fiziologia vegetală experimentală. Bucureşti, 1907, pag. 175—177.
4. *Molisch, H.:* Leuchtende Pflanzen. Jena, 1912.
5. *Rippel, A.: Die* Energieausnützung durch Mikroorganismen in quantitativer Hinsicht. Archiv für Microbiologie, 17, 1952.
6. *Sabinin, D. A.:* Fiziologhiceschie osnovi pitaniia rastenii. Moscva, 1955, pag. 454-459.
7. *Schouwenburg, K.:* Enzymologie, 9, 1938.
8. *Tauson V. O.:* Energhetica sinteticeschih protessov v cletche. Sov. nauca, 9, 1940, p. 63—86.

CUPRINS

	Pag.
Introducere	3
Istoricul fiziologiei plantelor	7
Nutriţia plantelor cu substanţe minerale şi cu azot	50
Fotosinteza	128
Migrarea substanţelor asimilate	297
Energeza	311

Scanned with OKEN Scanner

Tehnoredactor : Mihai Asanisof
Corector : Buldea Remus

Dat la cules 9.VI.1957. Bun de tipar 27.IX.1957
Tiraj 2000 hîrtie semivelină 65 gr/mp.
Format 70×100. Coli de tipar 23,5

Tiparul executat sub c-da nr. 658 la Litografia și Tipografia Ministerului Învățămîntului str. Spiru Haret nr. 9—11 București

Scanned with OKEN Scanner